



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

- BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

- FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

- INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

KLIMATICKÁ ZMĚNA A JEJÍ VLIV NA VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ ZÁSOBNÍHO OBJEMU NÁDRŽE

- CLIMATE CHANGE AND ITS IMPACT ON WATER MANAGEMENT ANALYSIS
OF RESERVOIR STORAGE CAPACITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

- DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

- AUTHOR

Bc. Martin Hudec

VEDOUCÍ PRÁCE

- SUPERVISOR

Ing. DANIEL MARTON, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Martin Hudec
Název	Klimatická změna a její vliv na vodohospodářské řešení zásobního objemu nádrže
Vedoucí práce	Ing. Daniel Marton, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Pachauri, R. K. , Allen, M. R. , Barros, V. R. , Broome, J. , Cramer, W. , Christ, R. , Church, J. A. , Clarke, L. , Dahe, Q. , Dasgupta, P. , Dubash, N. K. , Edenhofer, O. , Elgizouli, I. , Field, C. B. , Forster, P. , Friedlingstein, P. , Fuglestvedt, J. , Gomez-Echeverri, L. , Hallegatte, S. , Hegerl, G. , Howden, M. , Jiang, K. , Jimenez Cisneros, B. , Kattsov, V. , Lee, H. , Mach, K. J. , Marotzke, J. , Mastrandrea, M. D. , Meyer, L. , Minx, J. , Mulugetta, Y. , O'Brien, K. , Oppenheimer, M. , Pereira, J. J. , Pichs-Madruga, R. , Plattner, G. K. , Pörtner, H. O. , Power, S. B. , Preston, B. , Ravindranath, N. H. , Reisinger, A. , Riahi, K. , Rusticucci, M. , Scholes, R. , Seyboth, K. , Sokona, Y. , Stavins, R. , Stocker, T. F. , Tschakert, P. , van Vuuren, D. and van Ypersele, J. P. (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / R. Pachauri and L. Meyer (editors) , Geneva, Switzerland, IPCC, 151 p., ISBN: 978-92-9169-143-2

STARÝ, M. Nádrže a vodohospodářské soustavy. Nádrže a vodohospodářské soustavy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006. s. 1-216.

Marton, D.; Starý, M.; Menšík, P. Analysis of the influence of input data uncertainties on determining the reliability of reservoir storage capacity. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 2015, roč. 63, č. 4, s. 287-294. ISSN: 0042- 790X.

T. A. McMahon, A. J. Adedoye, Water Resources Yield, Water Resources Publication, 2005, ISBN 9781887201384

Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR, Ministerstvo životního prostředí [online]. 2015

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Klimatická změna je mezi odbornou veřejností velmi diskutované téma. Její vliv na budoucí provozní schopnosti vodních nádrží jde ruku v ruce s touto tematikou. Cíle práce lze rozdělit následovně. Nejprve provedení downscalingu vhodných klimatologických dat podle aktuálních výsledků výzkumu a měření. Dále na základě klimatických scénářů plynoucích z hodnotících zpráv AR4 a AR5 a vyhotovit analýzu zásobního objemu vybrané vodní nádrže. Výsledky výpočtů vhodně interpretovat a popsat možné nejistoty klimatické změny na objem nádrže.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Daniel Marton, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce popisuje aktuální probíhající klimatickou změnu a její dopady na vývoj vodohospodářského řešení zásobního objemu vybraného vodního díla. Vývoj klimatické změny a její ovlivnění vodního díla se prezentuje do roku 2100.

Udává podrobný popis online downscalingu, kalibraci hydrologického modelu, výpočet zásobního objemu nádrže v podmínkách klimatické změny a výpočtu robustnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Klimatická změna, Nejistota, Zabezpečení, Adaptace, RCPs scénáře, Downscaling, Predikce, Simulační model, Robustnost

ABSTRACT

The diploma thesis describes Climate Change and impacts of Climate Change on the development of the water management analysis of reservoir storage capacity. The development of climate change influence on reservoirs storage capacity is presented until 2100. It also gives a detailed online downscaling description..

KEYWORDS

Climate change, Uncertainty, Secured, Adaptation, RCP scenarios, Downscaling, Prediction, Simulation model, Robustness

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Martin Hudec *Klimatická změna a její vliv na vodohospodářské řešení zásobního objemu nádrže*. Brno, 2018. 72 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Daniel Marton, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2018

Bc. Martin Hudec
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2018

Bc. Martin Hudec
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Danielu Martonovi, Ph.D. za poskytnuté materiály a texty, které jsem mohl využít v práci a jsem si vědom, že použité texty psané Ing. Martonem doposud nebyly publikovány, nebo jsou přichystané k publikaci.

OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	5
3	METODY	6
3.1	ENSEMBLES Downscaling Portal.....	6
3.2	Lumped bilanční model.....	9
3.3	Simulační model chování nádrže	13
3.3.1	Výpočet zásobního objemu s 100% zabezpečeností odtoku z nádrže.....	13
3.3.2	Výpočet zásobního objemu při zabezpečenosti odtoku z nádrže menší než 100%.....	13
3.3.3	Výpočet zabezpečenosti odtoku vody z nádrže	14
3.3.4	Zavedení ztráty vody z nádrže	15
3.3.5	Robustnost	15
4	PRAKTICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE	17
4.1	Aplikace ESEMBLE Downscaling portal	19
4.2	Aplikace Runoff Prophet softwaru.....	25
4.2.1	Kalibrace.....	25
4.2.2	Validace	26
4.2.3	Průměrné generované průtoky z tří hlavních meteo stanic	28
4.3	Aplikace UNCE Climate Change softwaru.....	34
4.3.1	Vstupní veličiny.....	34
4.3.2	Vyhodnocení zabezpečenosti dle trvání.....	36
4.3.3	Vzájemný vztah mezi O_p [m^3s^{-1}] a P_t [%]	40
4.3.4	Hodnocení dle koeficientu α	43
4.3.5	Hodnoty odchylek a průměrných hodnot z grafického vyjádření	45
4.3.6	Vyhodnocení zabezpečenosti dle trvání P_t , $O_p= 2.53$ [m^3s^{-1}]	46
4.3.7	Vyhodnocení zabezpečenosti dle trvání P_t , $\alpha= 1 - 0.8$	47
4.4	Aplikace Robustnosti	51
5	VYHODNOCENÍ	54
5.1	Vývoj průtokového množství	54
5.2	Vývoj zabezpečenost dle trvání.....	55
5.3	Vyhodnocení Robustnosti.....	56
6	ZÁVĚR	57
7	POUŽITÁ LITERATURA.....	59
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	61

9	SEZNAM TABULEK.....	62
----------	----------------------------	-----------

1 ÚVOD

Otázka změny klimatu je v rámci desítek let jedním z hlavním společenským, politicko-ekonomickým tématem. V rámci aktuálního dění v oblasti klimatu je třeba si uvědomit, že se jedná o stav atmosféry, na který by se společnost měla adaptovat, vzhledem k prezentovaným teoriím zabývající se klimatem planety Země. Tyto teorie byly publikovány především v akademické sféře, což dává i značný podnět k zamyšlení vzhledem k nestrannosti k politické či ekonomické rovině.^[1]

Modelování hydrologických procesů významně přispívá k plánování vodního hospodářství především ve vyspělých státech. V nedávné historii se v Evropě projevuje závažné téma týkající se častějších extrémů klimatu a s tím souvisí i problém sucha.

V návaznosti na přibývajících extrémy počasí, budou tyto jevy stále zesilovány díky probíhající klimatické změně, která může zasáhnout a mít nepříznivý dopad na oblasti zemědělských a lesnických ekosystémů, vodních zdrojů, osídlení území a prakticky veškeré oblasti spojené s lidskou společností. Tento tlak nutně povede k rozšíření trvale udržitelného způsobu vodního hospodářství, zejména prostřednictvím ochranných opatření proti povodním a vysychání, jejich predikcí a zmírnění v urbanizovaných i agrárních oblastech.

Jedním z nejvíce využívaných informačních zdrojů k vývoji blízké budoucnosti v řádech desítek až stovek let jsou simulace klimatických modelů. Tyto modely je možné definovat jako matematický popis klimatického systému založený na fyzikálních zákonech a empirických vztazích. Dále je potřeba zahrnout změnu klimatu do vodohospodářských strategií. Což vyplývá ze současné národní i evropské legislativy a metodik. Proces plánování v oblasti vod v České republice se řídí vodním zákonem (254/2001 Sb.), jenž prezentuje ustanovení přijatá na evropské Rámcové směrnici o vodní politice. V rámci tohoto plánování byl v roce 2007 schválen Plán hlavních povodí a dále v roce 2009 vypracovány plány oblastí povodí. Vodní zákon ukládá aktualizaci plánu povodí v šestiletých cyklech, poslední tedy k roku 2015.^[1]

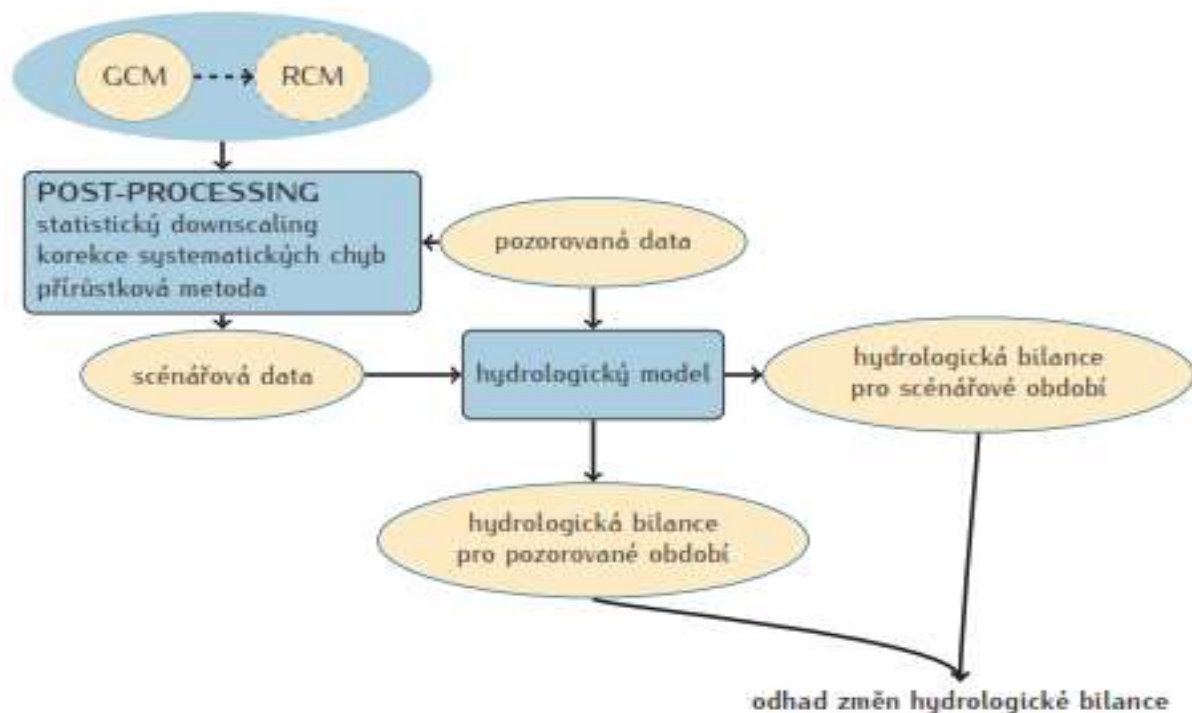
Je žádoucí, aby samotná klimatická změna byla zahrnuta do dlouhodobých změn ve vodohospodářských koncepcích. Tyto koncepce vyplývají z požadavku na zodpovědné plánování ekonomicky a technicky efektivních adaptačních opatření. Samotná vodohospodářská koncepce byla identifikována na úrovni Evropské unie a postupně se stává součástí strategických národních plánovacích dokumentů.^[2] Samotný postup modelování dopadů změny klimatu na hydrologický režim je zobrazen v obr. 1. a popsán následovně:

- Využívaný hydrologický model se kalibruje na zkoumané území pomocí pozorovaných historických dat.

Hydrologický model by měl být fyzikálně založen, aby bylo zaručeno, že i pro nepozorované podmínky bude poskytovat fyzikálně přijatelné výsledky.

- Vstupní hodnoty z globálního klimatického modelu byly převedeny na jednotlivé řady. Pro každý vybraný scénář se aplikují na zkoumané povodí. Především za využití statistického downscalingu a výstupů klimatického modelu.
- V rámci přesnosti je potřebné pomocí prostorové interpolace vztáhnout data z výpočetních buněk klimatického modelu k těžišti daného povodí. Pro reálné a přijatelné výsledné řady, je třeba mít pro kalibraci historické data ze zkoumaného prostředí.
- Pomocí nakalibrovaného hydrologického modelu a scénářových řad je provedena simulace hydrologické bilance pro potřebné období.

Pro vyhodnocení možných změn hydrologické bilance (či obecně jakýchkoliv veličin) jsou zpravidla odděleně posuzovány časové řady odpovídající současnému (kontrolní nebo referenční klima) a budoucímu (scénářovému) období. V klimatologii jsou standardně uvažována třicetiletá období, často je pro kontrolní klima voleno období 1961–1990. V rámci jednotlivých časových řezů se změny v charakteristikách jednotlivých veličin většinou přisuzují meziroční variabilitě. Existují i analýzy posuzující delší přechodné simulace klimatických modelů (např. pro období 1961–2099), nicméně tyto analýzy se zabývají spíše změnami vybraných charakteristik meteorologických veličin (např. srážkových extrémů, viz např. (Hanel a Buishand, 2011)) než hydrologickým modelováním. ^[3]



Obrázek 1. Schéma změn hydrologického vývoje klimatu (VÚV T.G.M.)

IPCC: Mezivládní panel pro změnu klimatu

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), byl založen v roce 1988 Světovou Meteorologickou Komisí Organizace (WMO) a programem OSN pro životní prostředí (UNEP), který poskytuje politikům pravidelné hodnocení vědeckých výsledků změny klimatu, jejich dopadů, budoucích rizik a možnosti adaptace a zmírnění těchto rizik.

Zprávy IPCC poskytují vládám na všech úrovních vědecký podklad, který se zaměřuje na vývoj klimatické politiky a je základem jednání na konferencích OSN o změně klimatu. Z kterých vycházejí politické předpisy. Tyto předpisy, představují možný vývoj klimatu a slouží jako doporučení a podnět pro diskuze o možných následcích. Nejedná se o nařízení vládám (politikům), ale o krocích, jenž by měli podnikat. ^[4]

Pokud je posuzován vliv člověka na změnu klimatu, je třeba počítat i s postupným vývojem technologií a schopností člověka, že podpoří nárůst tvorby skleníkových plynů i emisí a to v blízké i vzdálené budoucnosti.

Účast na IPCC je otevřen všem členským státům WMO a OSN. Aktuálně má organizace 195 členských států. Samotné zprávy a hodnocení vydané IPCC procházejí několika koly návrhů a přezkoumání, aby byla zaručená komplexnost a objektivnost výnosů. ^[4]

Aktuální změny jsou obtížně statisticky prokazatelné (např. v případě srážkových či teplotních extrémů je značný nedostatek vstupních dat za období před schopností společnosti zaznamenávat meteorologické měření), nicméně je pravděpodobné, že některé charakteristiky klimatu se mění (např. globálně klesá počet chladných a roste počet teplých dnů a nocí).

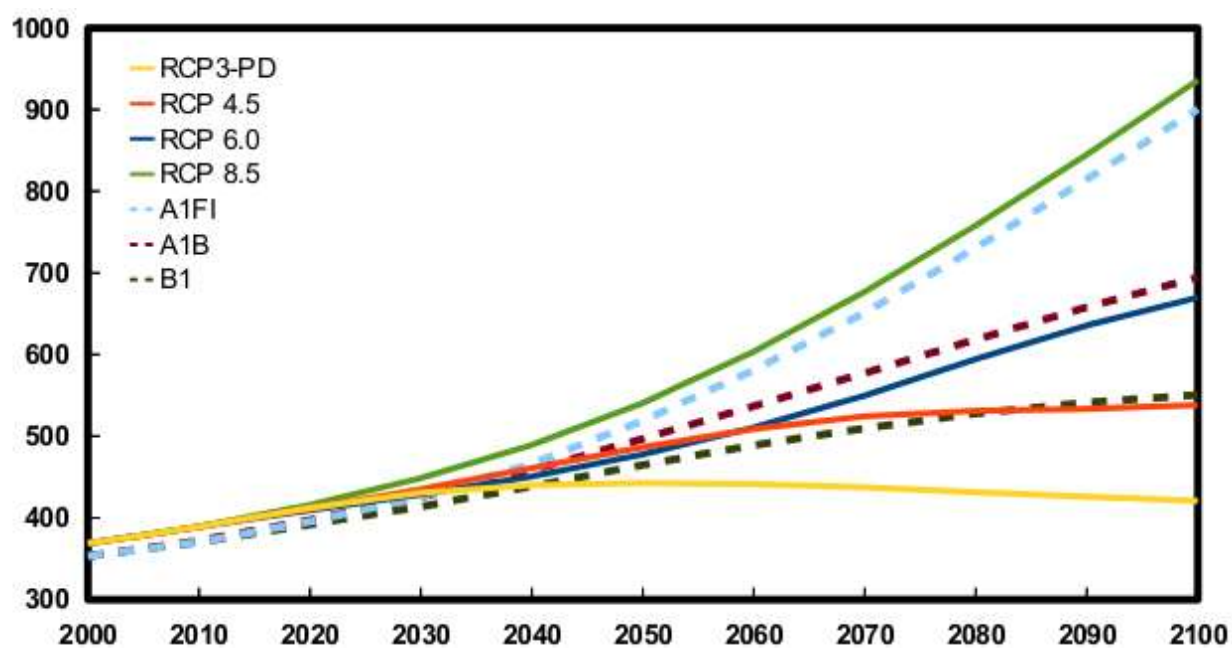
V současnosti IPCC upouští od kontroly tvorby emisních scénářů a tuto iniciativu přenechává vědecké komunitě. IPCC se snaží pouze motivovat vědeckou komunitu v další realizaci emisních scénářů. V minulosti měla IPCC hlavní podíl na tvorbě emisních scénářů, které se publikovali pro širokou veřejnost. Kromě IPCC scénářů se zde nacházeli i další „neoficiální“ emisní alternativní scénáře (např. IPCC AR4 (Solomon et al., 2007) zohledňuje více než 300 emisních scénářů publikovaných po zveřejnění scénářů SRES). Jednotlivé scénáře se liší metodikou a socio-ekonomickým vývojem. ^[4]

Pro tyto účely byly vytvořeny v rámci Mezivládního panelu změny klimatu (IPCC) čtyři hlavní skupiny emisních scénářů možného vývoje do konce 21.století (tzv. IPCC SRES scénáře). Z každé skupiny byl vybrán reprezentativní zástupce. Základní požadavky na RCPs scénáře byly (Moss et al., 2008)“

Porovnání koncentrací uvádí CO₂ [ppm] podle emisních scénářů na ose Y a osa X obsahuje vývoj v časovém období během 100 let od roku 2000 (Graf 1.).

Emisní scénáře popisují různé stupně socioekonomického vývoje světa (různou míru růstu ekonomiky, způsoby a možnosti využívání palivo-energetických zdrojů, regionální odlišnosti ekonomického rozvoje, vývoj nových technologií, populační vývoj, způsoby globálního rozložení míry nárůstu HDP, apod.). Atmosférické koncentrace CO₂ se mohou podle různých emisních scénářů v horizontu konce 21.století zvýšit v rozpětí 540 až 970 ppm; vztaženo ke koncentraci z roku 1750 (280ppm) to představuje zvýšení o 90 – 250 %. ^[4]

Scénáře RCP obsahují i scénář předpokládající mírný růst koncentrací s vrcholem před rokem 2100 s následným poklesem (RCP3-PD), jenž umožňuje posouzení vlivu možného snižování emisí. Ostatní RCPs scénáře víceméně pokrývají rozsah odhadovaných koncentrací pro scénáře SRES (obr. 2.1). Stejně jako v případě scénářů SRES není definována žádná pravděpodobnější varianta vývoje. V případě omezení výpočetních možností Moss et al. (2008) doporučuje primárně uvažovat scénáře s nejvyššími a nejnižšími koncentracemi (RCP8.5 a RCP3-PD), následně scénář RCP4.5 a na závěr scénář RCP6. Podrobnosti o tvorbě RCPs scénářů rozvádí např. Moss et al. (2008) nebo Meinshausen et al. (2011). ^[1]



Graf 1. Porovnání koncentrací CO₂

2 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem diplomové práce je vhodně popsat aktuální probíhající klimatickou změnu s postupným vývojem v budoucnosti a její aplikaci na vybrané vodní dílo.

Mezi dílčí cíle patří získání datových podkladů pro downscaling a výběru vhodného softwaru na jeho provedení. Veškeré datové podklady i scénáře by měli vycházet z páté hodnotící zprávy CMIP5.

Dále pak analyzovat jednotlivé datové sady a aplikovat je na zásobní objem vodního díla Vír I. Hlavní výstupy interpretovat v podobě vhodně zvolených textových a grafických zobrazení.

3 METODY

Klimatický downscaling obsahuje soubor technik, které využívají předpovědi globálních klimatických modelů (AOGCMs) k získání dat ve vyšším rozlišení. Data tvořící globální strukturu a jsou převedeny v rámci downscalingu na lokální vrstvu. Mezi hlavní informační datové soubory patří dynamický a statický downscaling.

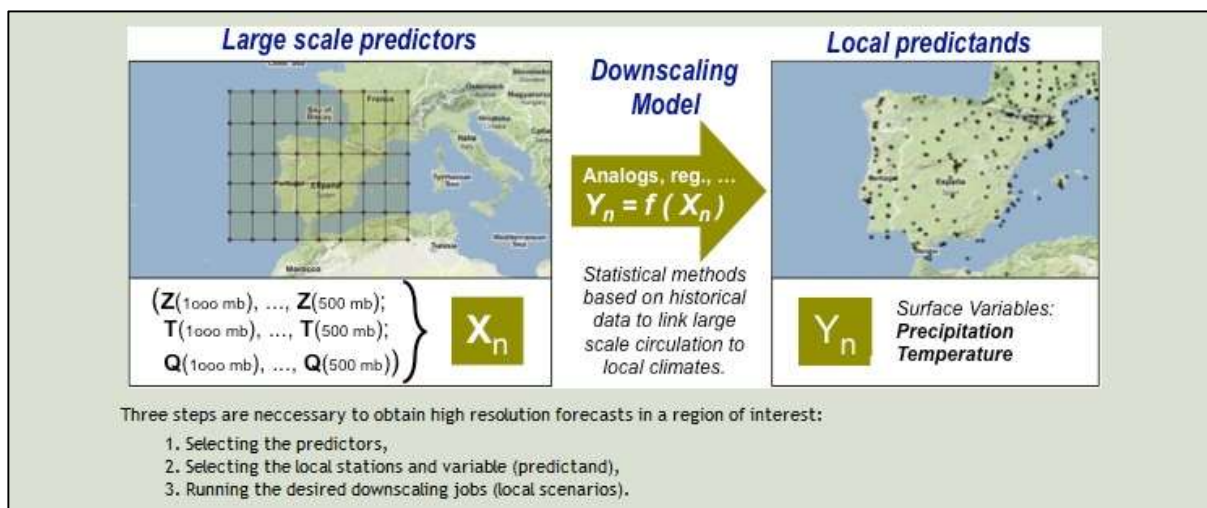
Santander meteorology Group je výzkumná skupina, kterou tvoří akademičtí pracovníci z Univerzity v Kantábrii (UC, Ústav aplikované matematiky a informatiky) a Národní rady pro výzkum (CSIC Institut de Física de Cantabria IFCA), který provádí výzkum v tématech týkajících se předpovědi počasí, výzkumu klimatu, shromažďování dat a vysokovýkonných výpočetních systémů (podrobnější informace o výzkumných linkách a publikacích jsou k nalezení na stránkách <http://www.meteo.unican.es/en/main>).

Skupina se zúčastnila 12 projektů financovaných EU. Seznam aktuálních probíhajících a již ukončených projektů je k dispozici na <http://www.meteo.unican.es/en/view/projects>. Mezi projekty řešené Santander met. group řadíme také ENSEMBLES DOWNSCALING PORTAL.

3.1 ENSEMBLES DOWNSCALING PORTAL

Cílem portálu je poskytnout výsledky modelování klimatických dat pomocí multi-model climate change global simulations pro účely dalších výzkumů a aplikací z oblasti zemědělství, vodního hospodářství, pojišťovnictví, energetiky a atd.. Portál umožňuje kalibrovat a downscalovat výstupy v zájmových regionech na základě historických měření.

Práce s portálem je přívětivá a lze zde provést různé metody statistického downscalingu. Portál pracuje transparentně s daty historického měření, reanalýzou a globálními klimatickými simulacemi (Gutiérrez a kol, 2012). Základní postup downscalingové metody je zobrazen na titulní straně viz *Obrázek.3*.



Obrázek 2. ENSEMBLE downscaling portal – princip práce s portálem

Všecké obrázky vztažené downscalingu jsou stažené ze stránek :

<https://www.meteo.unican.es/downscaling/intro.html>

Obsahem portálu jsou jednotlivé základní metody pro realizaci downscalingu, které vychází z (Gutiérrez a kol, 2012).

1. Tvorba a nastavení Prediktoru.
2. Tvorba a nastavení Prediktantu.
3. Výběr a nastavení metody downscalingu.
4. Downscaling.

Jednotlivé postupy 1, 2 a 3 korespondují s provedením kalibrace a validace vybrané downscaling metody. Samotný downscaling provedený v kroku 4 je pak shodný s vybranou metodou downscalingu, kdy nakalibrovaná metoda se aplikuje na různé GCM modely a emisní scénáře.

Definice a popis procesů tvorby experimentu:

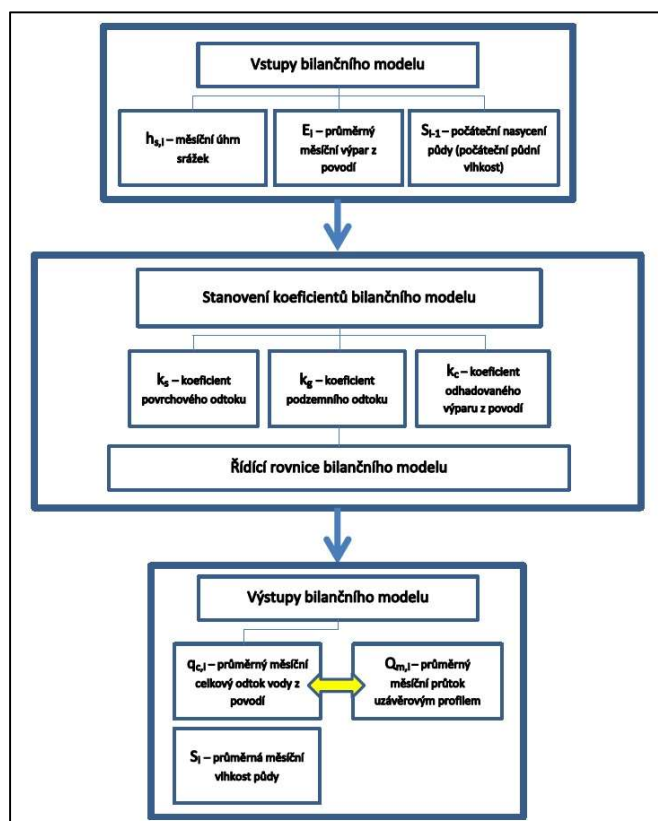
1. **Prediktor** ve svém hodnocení zobrazuje a rozvádí jednotlivé klimatické modely i s klimatickými veličinami, které jsou využity u jednotlivých experimentů; dále pak popisuje geografický region zájmu. Prediktor je tedy tvořen souborem informací o daném území, velikostí gridu, časových a prostorových informacích klimatologických veličin a informací o kompatibilních typech GCMs modelů.
2. **Prediktant** popisuje jeden nebo více klimatologických prvků, které budou v experimentu downscalovány. Prediktant je vytvořen pro jednu nebo více klimatologických stanic v dané lokalitě. Každá vybraná stanice obsahuje historické měření. Jakmile je prediktant vytvořen, následuje validace modelu. Validace může být provedena pro předdefinované downscaling metody. Validace provede přímé propojení mezi Prediktorem a Prediktantem.
3. Výběr a základní nastavení **downscalingové metody** je finální krok před konečným výpočtem. V rámci posledního kroku popisujeme využití metody, jejich kalibraci a validaci a následné využití ve výpočtu. Sestavení Downscaling metody je provedeno ve dvou krocích. Prvním krokem je sestavení empirických vztahů (statistického modelu) mezi prediktory (GCMs proměnné) a prediktanty (lokální data z vybraných stanic). Druhým krokem je aplikace statistického modelu na různé GCMs simulace a různé emisní scénáře. ENSEMBLE downscaling portal nabízí dvě možnosti statistického downscalingu:
 - *Non-Generative (algorithmic) metody*, která je dále dělena na *Analogovou metodu* a metodu *Weather types*. Analogová metoda využívá analogii místních a sousedních stanic k sestavení statistického downscalingu. Metoda Weather types vychází z podobnosti počasí/klimatu v daném místě určeného z vybraných stanic.
 - *Generative (model-based) metoda*, která obsahuje další čtyři metody založené na modelech Lineární regrese, Generalizovaného lineárního modelu, modelu Neuronových sítí (ELM) a Kvantitativní regrese. Metody

Generalizovaného lineárního modelu jsou využity jen v případech srážkového úhrnu, na druhou stranu Kvantilová regrese se využívá jen jako metoda pro downscaling dat obsahující teplotu.

Po nastavení Prediktorů, Prediktantů a zvolení metody downscalingu proběhne validace vybrané downscaling metody. Validací soubor je rozdělen v poměru 75 %/25 % na tréninkové a testovací data validace. Přesnost validace je popisována pomocí koeficientu korelace, *MAE* (střední absolutní chyby), *RMSE* (střední kvadratické odchylky) a normalizovaného *RMSE*. Po provedení validace je možné provést tzv. Downscaling reanalysis. Tento krok ověří vhodnost validace na historických záznamech. Na závěr je proveden downscaling GCMs modelů a emisních scénářů. Teoreticky ENSEMBLE downscaling portál nabízí možnost výběru z 8 GCMs modelů a všech typů emisních RCPs scénářů. Prakticky je však použití GCMs modelů a RCPs emisních scénářů prostorově omezeno. Pro území České republiky je možno aplikovat pouze model CMIP5-NORES-M, který postihuje emisní scénáře RCP 4,5 a RCP 8,5.

3.2 LUMPED BILANČNÍ MODEL

Základem bilančního modelu jsou upravené řídicí rovnice použité v bilančním modelu dle (Wang a kol., 2013). Tyto rovnice byly upraveny za výše definovaných zjednodušujících předpokladů a následně byly aplikovány na středně velké povodí v České republice. Testování a sestavení modelu bylo předmětem diplomové práce (Knoppová, 2018). Základní schéma bilančního modelu je zobrazeno na obrázku 4.



Obrázek 3. Schéma bilančního modelu

Soustava řídicích rovnic modelu je následující. Nejprve je definována řídicí rovnice plošného povrchového odtoku $q_{s,i}$ (3).

$$q_{s,i} = k_s \cdot \frac{S_{i-1}}{S_{max}} \cdot h_{s,i} \quad (3)$$

Kde v rovnici (3) je:

$q_{s,i}$... průměrný měsíční plošný povrchový odtok [mm] pro $i = 1, \dots, n$,

k_s ... koeficient povrchového odtoku [-],

S_{i-1} ... průměrná měsíční půdní vlhkost v kroku $i-1$ [mm],

S_{max} ... maximální retenční kapacita půd [mm],

$h_{s,i}$... průměrný měsíční srážkový úhrn [mm] $i = 1, \dots, n$.

Dále je odvozena řídicí rovnice podzemního odtoku $q_{g,i}$ viz (5).

$$q_{g,i} = k_g \cdot S_{i-1} \quad (4)$$

Kde v rovnici (4) je:

$q_{g,i}$... průměrný měsíční podzemní odtok [mm],

k_g ... koeficient podzemního odtoku [-],

S_{i-1} ... průměrná měsíční půdní vlhkost v kroku i-1 [mm].

V dalším kroku je stanovena řídicí rovnice celkového výparu z povodí E_i dle (5).

$$E_i = k_c \cdot \frac{S_{i-1}}{S_{max}} \cdot E_{p,i} \quad (5)$$

Kde v rovnici (6) je:

E_i ... průměrný měsíční výpar z povodí v kroku i [mm] pro $i = 1, \dots, n$,

k_c ... koeficient odhadovaného výparu z povodí [-],

$E_{p,i}$... potenciální měsíční výpar [mm], stanovený dle Thornthwaite metody.

Celkový odtok $q_{c,i}$ z povodí je následně dopočítán jako (6).

$$q_{c,i} = q_{s,i} + q_{g,i} \quad (6)$$

Kde v rovnici (6) $q_{c,i}$ je celkový průměrný měsíční odtok vody z povodí [mm] pro $i = 1, \dots, n$.

Půdní vlhkost S_i je stanovena jako (7).

$$S_i = S_{i-1} + h_{s,i} - q_{c,i} - E_i \quad (7)$$

Kde v rovnici (7) je::

S_i ... průměrná měsíční půdní vlhkost v kroku i [mm] pro $i = 1, \dots, n$.

S_{i-1} ... průměrná měsíční půdní vlhkost v kroku $i-1$ [mm].

$h_{s,i}$... měsíční srážkový úhrn [mm] v kroku $i = 1, \dots, n$.

$q_{c,i}$... průměrný měsíční celkový odtok z povodí [mm] $i = 1, \dots, n$.

E_i ... průměrný měsíční výpar z povodí v kroku i [mm] $i = 1, \dots, n$.

Kde ve všech výše uvedených rovnicích n odpovídá konečnému počtu prvků v řadě.

Stanovení množství potenciálního výparu v povodí bylo provedeno pomocí Thornthwaite metody. Kdy v bilančním modelu je nejprve spočítána nekorigovaná hodnota potenciální evapotranspirace $E_{p,j \text{ neopravená}}$ podle (8). $E_{p,j \text{ neopravená}}$ je považována za obecnou hodnotu potenciální evapotranspirace v měsíci vztaženou k 30ti dnům v měsíci a k teoretickému 12ti hodinovému trvání slunečnímu svitu za den. V rovnici (8) není uvažováno s geografickou polohou daného území. Tu je nutné dále adekvátně zohlednit.

$$E_{p,j \text{ neopravená}} = 16 \cdot \left(\frac{10T_a}{I} \right)^\alpha \quad (8)$$

Kde v rovnici (8) je:

$E_{p,j \text{ neopravená}}$... neopravený potenciální výpar z povodí v daném měsíci [mm/měsíc], pro $j = 1, \dots, 12$ měsíc.

T_a ... průměrná denní teplota vzduchu v daném měsíci j [$^{\circ}\text{C}$],

I ... teplotní index závisící na průběhu průměrných měsíčních teplot $T_{a,j}$ v roce je stanoven dle rovnice (9).

α ... součinitel definovaný rovnicí (10).

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{T_{a,j}}{5} \right)^{1,514} \quad (9)$$

Kde v rovnici (9) $T_{a,j}$ je průměrná měsíční teplota pro $j = 1, \dots, 12$ měsíc.

$$\alpha = (6,75 \cdot 10^{-7})I^3 - (7,71 \cdot 10^{-5})I^2 + (1,792 \cdot 10^{-2})I + 0,49239 \quad (10)$$

Kde v rovnici (10) I je teplotní index závisící na průběhu průměrných měsíčních teplot $T_{a,j}$ v roce viz (9). Na závěr se provede výpočet korigované hodnoty potenciální evapotranspirace $E_{p,j}$ (11). Kdy v rovnici (11) je zohledněna geografická poloha daného území.

$$E_{p,j} = E_{p,j \text{ neopravená}} \cdot \left(\frac{N_j}{12} \right) \cdot \left(\frac{d_j}{30} \right) \quad (11)$$

Kde v rovnici (11) je:

$E_{p,j}$... potenciální výpar z povodí v daném měsíci j dle Thornthwaite metody [mm/měsíc] pro $j = 1, \dots, 12$ měsíc,

N_j ... průměrný počet hodin denního svitu v příslušném měsíci [h] pro $j = 1, \dots, 12$ měsíc,

D_j ... počet dní v daném měsíci pro $j = 1, \dots, 12$ měsíc.

Korekce na příslušnou geografickou polohu území je provedena pomocí upraveného průměrného počtu hodin denního svitu v příslušném měsíci N_j . Opravená hodnota N_j je dopočítána pomocí rovnice (12).

$$N_j = \frac{24}{\pi} \cdot \omega_{s,j} \quad (12)$$

Kdy v rovnici (12) $\omega_{s,j}$ je úhel hodin západu slunce [rad] pro $j = 1, \dots, 12$ měsíc, který je vyčítán dle vztahu (13).

$$\omega_{s,j} = \arccos[-\tan(\varphi_j) \cdot \tan(\delta_j)] \quad (13)$$

Kdy v rovnici (13) je:

φ_j ... přepočtená zeměpisná šířka [rad] pro $j = 1, \dots, 12$ měsíc, viz vzorec (15),

δ_j ... sluneční delkinace [rad], pro $j = 1, \dots, 12$ měsíc, vzorec (16).

$$\varphi_j = \frac{\pi}{180} \cdot (z.š) \quad (14)$$

$$\delta_j = 0,409 \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{J_j}{365} - 1,39\right) \quad (15)$$

Kde J_j je výpočet pořadí dne v roce. Pro měsíční výpočty je počítáno J_j pro střed měsíce viz. (16).

$$J_j = (30,4 \cdot i - 15) \quad (16)$$

K správné kalibraci bilančního modelu bylo nutné vyřešit soustavu výše popsaných řídicích rovnic modelu. Soustava řídicích rovnic vedla k řešení optimalizačního problému. Kdy kalibrační koeficienty vstupovaly jako proměnné do optimalizace bilančního modelu. V řídicích rovnicích bilančního modelu tedy bylo nutné optimalizovat, reps. kalibrovat 37 parametrů modelu. Z toho 12 parametrů měsíčních koeficientů povrchového odtoku k_c , 12 parametrů měsíčních koeficientů podzemního odtoku k_g a 12 parametrů měsíčních koeficientů evapotranspirace k_e a jeden parametr počáteční půdní vlhkosti S_{i-1} . Optimalizace koeficientů byla řešena dvěma způsoby. Při prvotních testováních modelu byla použita nejprve gradientní optimalizace, kterou nabízí v nástroji Řešitel program MS EXCEL. Po prokázání funkčnosti modelu, byla vytvořena v programovacím jazyce FORTRAN optimalizace pomocí optimalizační metody evolučních algoritmů (Knoppová, 2017). Kritériem optimalizace bylo maximalizace hodnoty Nash–Sutcliffeova koeficientu NSE , který je popsán jako (17).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{m,i,real} - Q_{m,i,pre})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{m,i,real} - \bar{Q}_r)^2} \quad (17)$$

V rovnici (17) pak:

$Q_{m,i,real}$... reálný průměrný měsíční průtok [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$], pro $i = 1, \dots, n$, kde n odpovídá konečnému počtu prvků v řadě.

$Q_{m,i,pre}$... predikovaný/modelovaný průměrný měsíční průtok [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$], pro $i = 1, \dots, n$, kde n odpovídá konečnému počtu prvků v řadě.

$\overline{Q_r}$... dlouhodobý průměrný průtok reálné řady [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$].

Model byl kalibrován a validován. Bylo provedeno rozdělení vstupních dat v poměru 70 % kalibrace a 30 % validace. Jako vstupní data do modelu byly použity hodnoty průměrných měsíčních teplot vzduchu $T_{a,i}$, řada měsíčních hodnot srážkového úhrnu $h_{s,i}$ a řada průměrných měsíčních průtoků $Q_{m,i}$.

[Wang a kol., 2013] a [Knoppová, 2018]

3.3 SIMULAČNÍ MODEL CHOVÁNÍ NÁDRŽE

3.3.1 Výpočet zásobního objemu s 100% zabezpečeností odtoku z nádrže

Položka (18) zobrazuje základní rovnicový tvar, z kterého následně vychází simulačního model chování nádrže.

$$V_n = V_0 + \sum_{i=1}^n (O_i(V_i) - Q_i) \Delta t \quad (18)$$

Levou stranu rovnice tvoří V_n objem vody v nádrži na konci n -tého kroku řešení, V_0 je počáteční objem vody v nádrži, Q_i je průměrný měsíční přítok vody do nádrže a $O_i(V_i)$ je průměrný měsíční řízený odtok vody z nádrže, který se mění v závislosti na plnění nádrže, Δt udává délku časového kroku. Index i vyjadřuje pořadí řešeného měsíce $i = 1, 2, \dots, n$, kde n je počet všech řešených měsíců a je dán počtem členů řady průměrných měsíčních přítoků vody do nádrže. V sumárním vyjádření odtok je privilegován před přítokem, a proto rovnice simuluje prázdnění nádrže. Vstupní podmínkou řešení je maximální možné známé naplnění zásobního objemu nádrže o velikosti V_z , prázdnění zásobního objemu je tedy nulové. Okrajovou podmínkou řešení je zadaný přítok vody do nádrže – řada průměrných měsíčních přítoků. Řešení je provedeno na plánovaný nalepšený odtok vody z nádrže O_P .

3.3.2 Výpočet zásobního objemu při zabezpečenosti odtoku z nádrže menší než 100%

Ve vztahu (19), který je omezující podmínkou typu nerovnosti, představuje výraz mezi znaménky nerovností hodnotu prázdnění nádrže na konci k -tého kroku. Uvedené prázdnění musí být v kladných hodnotách (zásobní objem je plný a voda přepadá přes přeliv) a zároveň není možné aby přesáhla velikost zásobního objemu nádrže (zásobní objem je prázdný a vodu není kam akumulovat). Suma až do $k-1$ kroku je vyčíslena z předchozích kroků řešení. Zbývá tedy v každém kroku rozhodnout, zda je možný řízený odtok O_K nahradit hodnotou O_P . Pokud při dosažení O_P za O_K zůstane výraz v daných mezích, není třeba reagovat a výpočet se rekurentně přesune do dalšího kroku řešení. Pokud však budou meze překročeny, položí se

výraz roven překročené mezi a vypočte se korigovaná hodnota O_K . V daném kroku je pak hodnota příslušné meze prázdněním nádrže právě dosažena. Pokud je O_K menší než O_P , vzniká v daném měsíci porucha, měsíc je poruchový. Vniklé poruchy za celé řešené období jsou pak uvažovány při výpočtu zabezpečení. Popsaným postupem založeným na principu predikce-korekce je vyčíslen průběh skutečného odtoku vody z nádrže a je daný řadou vyčíslených řízených odtoků vody z nádrže.

$$0 \leq \sum_{i=0}^{k-1} (O_i - Q_i) \Delta t + (O_k - Q_k) \Delta t \leq V_z, \quad (19)$$

3.3.3 Výpočet zabezpečení odtoku vody z nádrže

Zabezpečení podle trvání

Obecnou definici zabezpečení vodohospodářských systému postupně popsali (Kritskiy, Menkel 1952), (Klemeš, 1967) a (Hashimoto, 1982). Klasifikace poruchy zásobního objemu nádrže pro následný výpočet zabezpečení je (20).

$$Z_{t,i} = \begin{cases} Z_{t,i} = 1, & O_i \geq O_P \\ Z_{t,i} = 0, & O_i < O_P \end{cases} \quad (20)$$

$Z_{t,i} = 1$ popisuje stav zásobního objemu nádrže v bezporuchovém časovém kroku výpočtu. $Z_{t,i} = 0$ popisuje stav zásobního objemu nádrže v poruchovém (nevyhovujícím) časovém kroku výpočtu. Z hodnot $Z_{t,i}$ je možno dále dopočítat požadovanou zabezpečení. Obecně se počítá jako zabezpečení podle opakování, doby trvání a množství nedodané vody. Práce vyžívá vzorec pro výpočet zabezpečení podle trvání P_T (21), vzorec je odvozen podle Čegodajeva.

$$P_T = \frac{(\sum_{i=1}^n Z_{t,i}) - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100 \quad (21)$$

Kde n je počet všech měsíců v řešeném období a suma $Z_{t,i}$ pak určuje počet bezporuchových měsíců.

Zabezpečení podle množství nedodané vody

Ve všech měsících, kdy je odtok vody z nádrže O menší, než požadovaný odtok vody z nádrže O_P znamená, že nastala porucha v dodávce vody z nádrže. Zabezpečení podle dodávky vody P_D je potom dána poměrem skutečně odtoklého množství vody k plánovanému odtoklému množství v daném období, která je vypočítána opět dle Čegodajeva (22).

$$P_D = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100 \quad (22)$$

kde pro zabezpečení P_D je

m ... skutečné odtoklé množství využití vody [m^3],

n ... plánované odtoklé množství vody při nalepšeném odtoku v daném období [m^3].

Plánované odtoklé množství vody při nalepšeném odtoku v daném období lze stanovit dle vztahu n (23).

$$n = O_P \cdot t \quad (23)$$

Skutečné odtoklé množství využitě vody nebo množství dodané vody bez poruch lze stanovit dle rovnice m (24).

$$m = O_P \cdot t - \sum D, [m^3] \quad (24)$$

kde:

O_P ... nalepšený, neboli požadovaný odtok vody z nádrže $[m^3 \cdot s^{-1}]$,

t ... celkový čas v daném období $[s]$,

$\sum D$... hloubka poruchy neboli objem vody nedodaný do systému $[m^3]$.

3.3.4 Zavedení ztráty vody z nádrže

Pro reálnější výpočet jsou v simulačním modelu zahrnuty proměnné ztráty vody z nádrže. Model počítá se ztrátami průsakem tělesa hráze a s největším ukazatelem ztrát vody z nádrže, kterým je výpar z vodní hladiny.

Ztráty výparem jsou do řešení zavedeny následovně. Z hodnoty průměrného ročního výparu, která je pro danou nádrž známa, jsou rozpočítány velikosti měsíčního výparu dle procentuálního rozložení měsíčního výparu v průběhu roku (viz. norma ČSN 75 2405 Vodohospodářské řešení vodních nádrží).

Zavedení ztrát do řešení probíhá v každém měsíci ve dvou krocích. V prvním kroku je vypočteno prázdnění zásobního objemu nádrže při daném O_P . Simulační model, pak z batygrafických křivek nádrže stanoví průměrnou plochu vodní hladiny v daném měsíci a následně k dané ploše dopočítá objem odpařené vody. Hodnota objemu odpařené vody, je převedena na ztrátový odtok. K němu je dle zadaných požadavků možno připočíst ztrátový odtok průsakem tělesem hráze. Výsledná hodnota je následně odečtena od hodnoty přítoku vody do nádrže v daném měsíci. Takto upravená hodnota průměrného měsíčního přítoku vody do nádrže (snížená o celkový ztrátový odtok) ve druhém kroku výpočtu znovu vstupuje při daném O_P do opakovaného výpočtu prázdnění nádrže na konci řešeného měsíce (postupná bilance). Uvedený postup je postupně opakován pro všechny měsíce řešeného období. Po ukončení simulace jsou z evidovaných poruch vypočteny požadované zabezpečení.

3.3.5 Robustnost

Anglický ekvivalent pro robustnost je Ruggedness nebo Robustness. První zmínka o robustnosti – Youden (1961): "... analytical process need to be „rugged“...

Robustnost analytického postupu je mírou jeho kapacity zůstat netečný vůči malým, ale záměrným změnám parametrů metody a poskytuje informaci o jeho spolehlivosti během běžného používání.

Robustnost je tudíž schopnost metody být „netečná k mírným (a nevyhnutelným) odchylkám od některé obvyklé rutinní činnosti“ (W.J. Youden, Statistical techniques for collaborative tests. Statistical manual of the AOAC, Washington DC.)

Dále může být robustnost definována jako míra vlivu mírného kolísání úrovně jednotlivých parametrů na výsledek analytického stanovení. Definice robustnosti je v každém protokolu jiná (ICH, FDA, PhEur, JP, USP).

Srozumitelná definice může být následující: Robustnost metody je definována jako míra kapacity metody při jejím reprodukování za nepatrně změněných podmínek. Změna podmínek může nastat pro případ mezilaboratorních zkoušek (jiná laboratoř, analytik, instrument = RUGGEDNESS) nebo změnou podmínek v jedné laboratoři (teplota, koncentrace, doba extrakce = ROBUSTNESS).

Výsledkem robustnosti je informace, jaké parametry metody jsou kritické a vyžadují pečlivou kontrolu. Výsledkem robustnosti může být také interval kritických parametrů metody, ve kterém metoda poskytuje nejmenší chyby měření. [5]

Samotné vyhodnocení robustnosti spočívá v poměru akceptovatelných scénářů (vyhodnocených jako pravdivé), které jsou dány okrajovou podmínkou k úplnému počtu scénářů.

$$R_0 = \frac{\sum b_i}{\sum a_j} \cdot 100 \quad (1)$$

Kde v rovnici (1) je:

- R_0 ... hodnota robustnosti [%]
- a_j ... celkový počet scénářů
- b_i ... počet scénářů vyhovujících podmínce

$$b_i = \begin{cases} b_i \geq x, \\ b_i = a_j - c_k, (c_k < x) \end{cases} \quad (2)$$

Kde v podmínce (2) je:

- x ... hodnota podmínky
- c_k ... počet scénářů menších než je hodnota podmínky

4 PRAKTICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

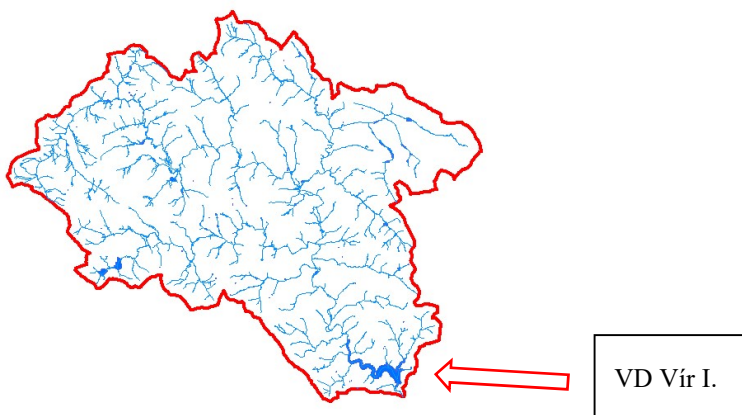
V rámci praktické části byli aplikovány a sníženy data denních srážek a průměrných denních teplot na hydrologické modely. Samotné datové soubory se převedli na měsíční průměrné hodnoty se kterými následně bylo možné operovat. Převedení bylo provedeno v programu Microsoft Excel.

Lokalizace VD Vír I.



Obrázek 4. Vodohospodářská mapa, lokalizace VD Vír I. (cs.wikipedia.org)

Síť vodních toků v povodí řeky Svratky nad Vírskou přehradou lokalizujeme částečně do Pardubického kraje a kraje Vysočina. Povodí Svratky nad Vírskou přehradou má rozlohu 410.5 km². To představuje necelých 10 % rozlohy povodí řeky Svratky (4 115 km²), která má celkovou délku 174 km a je levobřežním přítokem řeky Dyje.



Obrázek 5. Povodí VD Vír I. (program: ARCGis)

Meteorologické stanice

Pro downscaling je vybrán průměr ze tří meteorologických stanic, které se nejbližše vztahují na zkoumaný region a jsou součástí downscalingového portálu. Hodnoty z průměru tří stanic Vídeň, Milešovka a Oravská Lesná se poměrově vztáhli a přepočítali na data získané z ČHMÚ.

Vídeň

- Nadmořská výška: 198 m n. m.
- Zeměpisné souřadnice: 16.35° zeměpisné délky, 48.23° zeměpisné šířky

Oravská Lesná

- Nadmořská výška: 780 m n. m.
- Zeměpisné souřadnice: 19.17° zeměpisné délky, 49.37° zeměpisné šířky

Milešovka

- Nadmořská výška: 833 m n. m.
- Zeměpisné souřadnice: 13.93° zeměpisné délky, 50.55° zeměpisné šířky



Obrázek 6. Mapa využitých meteorologických stanic (ensembles downscaling portál)

4.1 APLIKACE ESEMBLE DOWNSCALING PORTAL

Webové stránky: <https://www.meteo.unican.es/downscaling/home.html>

Po registraci na downscalingovém portálu je nutné přečíst licenční a uživatelské podmínky. Na samotnou práci je zde vymezen časový blok 100 hodin. Což je maximální možná doba pro využití portálu.

Kapitola se zabývá detailním popisem postupu online downscalingu vytvořeným skupinou Santander MetGroup.

Dále jsou podrobně popsány jednotlivé záložky ve výchozí stránce portálu, mezi které patří: *My home*, *Predictor*, *Predictand*, *Downscaling Method* a *Downscaling*.

My home

V záložce *My Home* je možné kontrolovat celý postup snižování dat. Při bližším prozkoumání portálu je třeba zkontrolovat veškeré detaily v záložce *My account*. Kde se nachází informace o klimatických databázích, observatořích a analýze datových souborů.

The screenshot shows the 'Downscaling Portal' interface. The top navigation bar includes tabs for 'My home', 'Predictor', 'Predictand', 'Downscaling Method', and 'Downscale'. To the right of these tabs are 'Log out' and 'My account' buttons. The main content area is split into two sections. The left section, 'Experiment manager', features a tree view with folders like 'Norsko', 'CZE_AUS_SVK', 'Japan', 'srazky', and 'srazky_dan'. The right section, 'My Jobs', contains a table with columns for Id, Date, Status, Type, and Actions. The table lists various jobs, most with a status of 'FINISHED'. At the bottom of the page, it says 'Developed by: predictia' and 'Santander Meteorology Group, Downscaling Portal 2017'.

Id	Date	Status	Type	Actions
59673	01/12/2017 09:16:...	FINISHED	DOWNSCALING	Hide
59674	01/12/2017 09:16:...	FINISHED	DOWNSCALING	Hide
59672	01/12/2017 09:14:...	FINISHED	VALIDATION	Hide
59671	01/12/2017 09:11:22	FINISHED	FEATURESELECTION	Hide
59670	01/12/2017 09:10:...	FINISHED	VALIDATION	Hide
59669	01/12/2017 09:07:...	FINISHED	PREDICTOR	Hide
59668	01/12/2017 09:02:...	FINISHED	PREDICTOR	Hide
59178	05/11/2017 21:26:16	FINISHED	DOWNSCALING	Hide
59179	05/11/2017 21:26:16	FINISHED	DOWNSCALING	Hide
59176	05/11/2017 21:25:02	FINISHED	DOWNSCALING	Hide
59177	05/11/2017 21:25:02	FINISHED	DOWNSCALING	Hide
59174	05/11/2017 21:22:07	FINISHED	DOWNSCALING	Hide
59175	05/11/2017 21:22:07	FINISHED	DOWNSCALING	Hide
59172	05/11/2017 21:21:21	FINISHED	DOWNSCALING	Hide

Obrázek 7. Domovská stránka online downscalingu

Predictor

Jedná se o indikátor budoucího vývoje. Pro vytvoření „Create“, je požadován výběr z možností Reanalysis modelů ERA-INT_DM, ERAINTETIM_DM a JRA55-DM.

- *ERA-INT_DM/ ERAINTETIM_DM*

Charakteristické globální denní průměrná data mají základ v 6 hodinové datové sadě ERA, je vhodná pro řadu prediktorů za účelem statistického snižování dat. Původní ERA-Interim lze získat od vlastníka dat na datovém serveru ECMWF.

Popis průběžné reanalýzy ERA, je k dispozici v časopise Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.



- *JRA55-DM*

Japanese 55-year Reanalysis (JRA-55). Tato datová sada je tvořena prediktory, které se běžně používají pro statistický downscaling (SD).

Japonská meteorologická agentura (JMA) vytvořila JRA-55, jedná se o druhý japonský globální projekt reanalýzy atmosféry. Pokrývá historii 55 let měřených dat od roku 1958, což se shoduje se zavedením globálního pozorovacího systému radiosond. Ve srovnání se svým předchůdcem JRA-25, je JRA-55 založen na novém systému pro asimilaci a predikci dat, který zlepšuje mnohé nedostatky zjištěné při první japonské analýze.

Při výběru lokace je možné využít zadávání v GPS datech anebo pomocí mapového podkladu, kde lze vybrat požadovanou oblast. V rámci provádění snižování dat v České republice je nutné označit celé území ČR pomocí ikony „Select Grid“, je to z důvodu malé koncentrace meteorologických stanic v databázi Downscalingového portálu nad ČR.

Dále je možnost výběru požadovaných hodnot jako jsou minimální a maximální teploty, srážky a jiné veličiny. Kde vybranou veličinu zvolíme a následně ověříme její kompatibilitu s GCMs modely. Je požadována kompatibilita alespoň s jedním modelem. Pro úplné vytvoření zvolíme název predictorů. V průběhu jednotlivých úkonů je vhodné kontrolovat záložku „Jobs info“, kde se zobrazují aktuální probíhající operace a jejich úspěšné nebo chybné vyhodnocení.

Contact:  

My home Predictor Predictand Downscaling Method Downscale

ENSEMBLES UNIVERSIDAD DE CANTABRIA CSIC Downscaling Portal Santander MetGroup

Log out My account

View Create

Jobs info Help

Reanalysis: ERA-INT_DM [info](#)

Start date: 01/01/1979 End date: 31/12/2010

Longitude: 12.08 to 18.52 Latitude: 47.58 to 51.59 Resolution: 2 / 2

Add fields to the predictor (var-level-time):


2D 12

2m Temperature - Minimum Temperat
Maximum Tempera
Total Precipitation

Compatible GCMs:

CMIP5-MIROC-ESM false
CMIP5-MPI-ESM-... false
CMIP5-NORESM... true

Predictor name: Try [Create new Predictor](#)



Max grid points: 100 (currently 12 selected)

Obrázek 8. Postup pro výběr predictorů

Predictand

Tvorbu predictandu udává záložka „Create“, pro zvolení vytvořeného Prediktoru, vybereme z jednotlivých databází ECA_Europe nebo GSN World a variace požadovaných srážek či teplot. Je nutné vybrat meteorologické stanice pomocí ikony „Select points to add“. Možný výběr obsahuje maximálně 5 stanic.

- **ECA_Europe** jsou stanice vybrané v rámci celé Evropy z veřejného archivu ECA&D pro projekt The VALUE. Je zde možnost stažení datových souborů.

Projekt zohledňuje také skupinu 784 stanic s denními údaji o srážkách a teplotách. Tyto datové balíky mají méně než 5 % chybějících údajů pro období 1981 – 2010.

Více informací je možno nalézt na stránkách:

(http://www.value-cost.eu/WG2_dailystations).

- **GSN World**, zde se jedná o celosvětovou sadu meteorologických stanic vybraných z The GCOS Surface Network (GSN). Pro úplnost je brán ohled na skupinu stanic s méně než 15 % chybějících dat v období 1979 – 2012. Soubory obsahují srážkové úhrny a min., max. teploty.

Data jsou přístupná od 15.10.2013 na stránkách: <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn>

The screenshot displays the 'Predictand' web application interface. At the top, there are navigation tabs: 'My home', 'Predictor', 'Predictand', 'Downscaling Method', and 'Downscale'. The 'Predictand' tab is active. Below the tabs, there are buttons for 'View' and 'Create'. The 'Predictor' dropdown is set to 'CZE_AUS_SVK'. The 'Dataset' dropdown is set to 'ECA_Europe', and the 'Variable' dropdown is set to 'Mean daily temperature'. A map of Central Europe is shown, with several meteorological stations marked with red dots. A 'Predictand details' panel on the left indicates 'Selected stations: 4 (+ info) (max: 5)' and has a checkbox for 'Show station names'. A 'Stations info' table is displayed below the map, listing the selected stations with their names, heights, longitudes, and latitudes.

Name	Height	Longitude	Latitude
WIEN	198	16.35	48.2331
FICHTELBERG	1213	12.9553	50.4292
MILESOVKA	833	13.9314	50.5544
ORAVSKA LESNA	780	19.1667	49.3667

At the bottom of the interface, there is a checkbox for 'Create default Downscaling Method' and a text field for 'Predictand Name' containing 'T_mean'. A 'Create new Predictand' button is also present.

Obrázek 9. Mapový podklad výběru meteo stanic

Downscalingové metody

Mezi základní členění downscalingových metod řadíme Ne-generativní a Generativní metody.

Zde je na uvážení uživatele, jakou metodu zvolí i samotné nastavení jejich vlastností. Mezi základní metody je udávána Analogová metoda v ne-generativní sekci. V Generativní sekci je potřeba upozornění na dvě metody. První je Generalizovaný lineární model, který je možné aplikovat jen na hodnoty srážek a druhý je Kvantilová regrese, která je využívána jen pro databázi obsahující teploty.

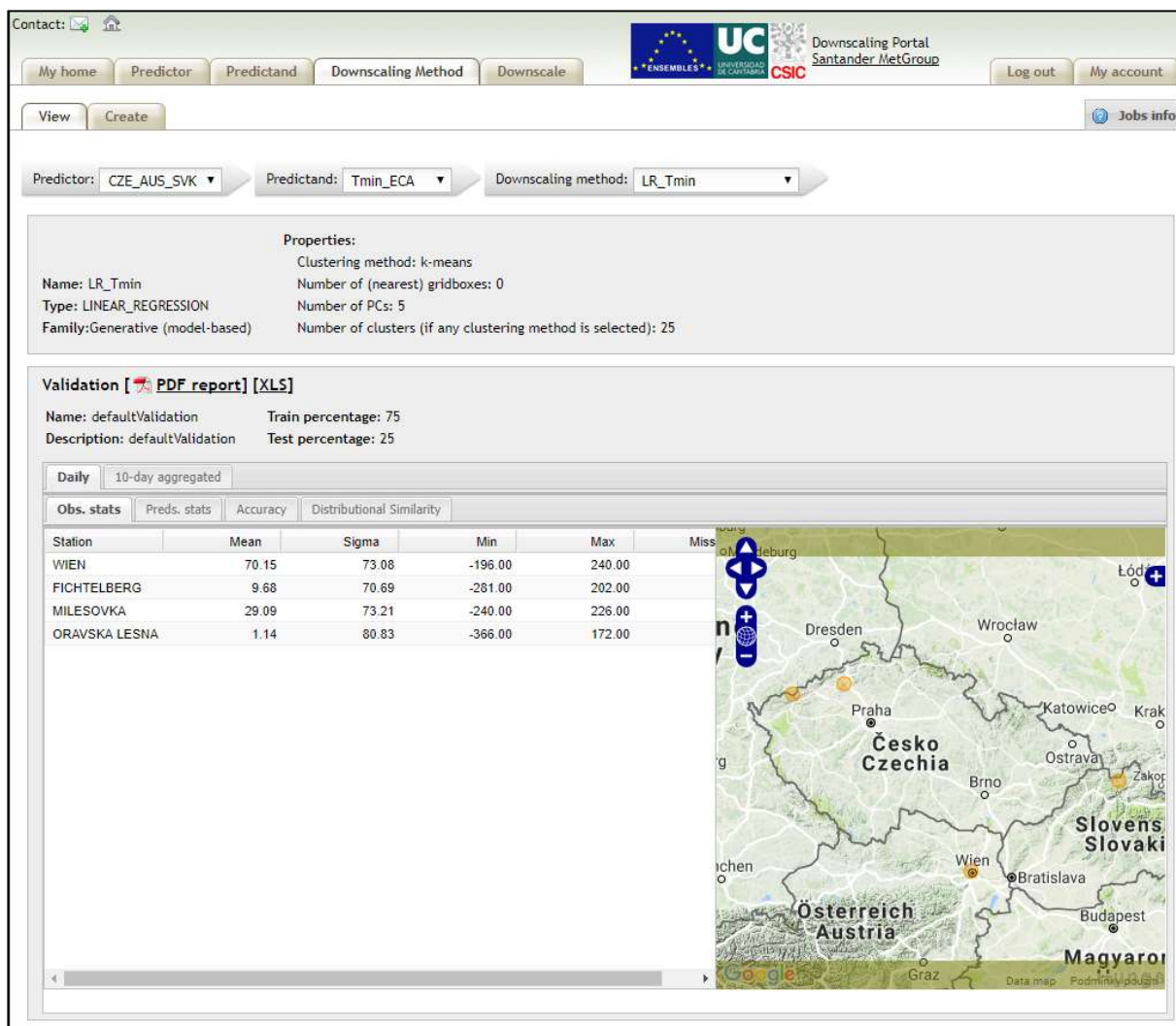
The screenshot shows a web application interface for creating a downscaling method. At the top, there is a navigation bar with tabs: 'My home', 'Predictor', 'Predictand', 'Downscaling Method' (which is active), and 'Downscale'. Below the navigation bar, there are two buttons: 'View' and 'Create'. The main form area contains several sections:

- Predictor and Predictand:** Two dropdown menus. The 'Predictor' is set to 'CZE_AUS_SVK' and the 'Predictand' is set to 'Tmean_ECA'.
- Method Type:** Two radio buttons: 'Non-Generative (algorithmic)' (selected) and 'Generative (model-based)'.
- Analogue Selection:** Two radio buttons: 'Analogues' (selected) and 'Weather types'.
- Downscaling method properties:**
 - Number of analogues:** A text input field containing the value '1'.
 - Inference method:** A dropdown menu set to 'Mean'.
 - Description:** A large text area for entering a description.
 - Downscaling method name:** A text input field for naming the method.
- Create new Method:** A button at the bottom of the form.

Obrázek 10. Tvorba downscalingové metody

Po vytvoření downscalingové metody je nutné ověření samotné metody v záložce „View“ → „Validate method“.

Zprávu o procesu kontroly platnosti zadaných hodnot je možné stáhnout v informačních souborech ve formátech .pdf nebo .xls.



Obrázek 11. Validace a kontrolní zpráva vybrané downscalingové metody

Downscale

Finální fáze downscalingu navazuje na záložky „*Climate Change*“ a dále „*Create*“.

V rámci programu CMIP5 jsou zde možnosti výběru klimatických scénářů RCPs (reprezentativních modelů vývoje koncentrací skleníkových plynů). Dostupné scénáře jsou RCP4.5 (střední emise: značí přechodný scénář, kde emise nebudou striktně omezeny, ale zároveň bude regulován jejich růst) a RCP8.5 (vysoké emise: značí scénář s velmi vysokými emisemi oxidu uhličitého v budoucích letech, které nebudou jinak omezeny).

V rámci studentského uživatelského rozhraní je možné využít jen dva procesy, aby pracovali souběžně. Tudiž je třeba kontrolovat postup snižování dat v záložce „*Jobs info*“.

The screenshot shows the 'Downscaling Portal' interface. At the top, there are navigation tabs: 'My home', 'Predictor', 'Predictand', 'Downscaling Method', and 'Downscale'. Below these are sub-tabs for 'Climate Change', 'Seasonal', and 'Hindcast'. The 'View' tab is selected. The interface includes a search bar with 'Predictor: sracky_dan', 'Predictand: Srazky_pred', 'Downscaling method: Analogues (default)', and 'Scenario: historical_r1i1p1'. Below this is a table with the following data:

Time Step	Model	Info
1941 - 1950	CMIP5-NORES-M1-M	info
1951 - 1960		
1961 - 1970		
1971 - 1980		<input checked="" type="checkbox"/>
1981 - 1990		<input type="checkbox"/>
1991 - 2000		<input type="checkbox"/>

At the bottom, there is a button labeled 'Run selected downscalings'.

Obrázek 12. Průběh downscalingu pro jednotlivé časové kroky

V záložce „View“ je možnost stažení výsledných souborů ve formátu .csv a následnému zpracování výsledků downscalingu.

4.2 APLIKACE RUNOFF PROPHET SOFTWARE

Jedná se srážkoodtokový model, pomocí kterého jsou vstupní data jako průměrné srážky a teploty zahrnuty do výpočtu pro predikci průtoků v uzavřeném profilu zkoumaného povodí.

Model funguje na bázi kalibrace, kde je využita průtoková řada za již vyhodnocené období. Tato řada je následně porovnána s predikcí, která vychází z historického pozorování a následné předpovědi vývoje průtoků.

4.2.1 Kalibrace

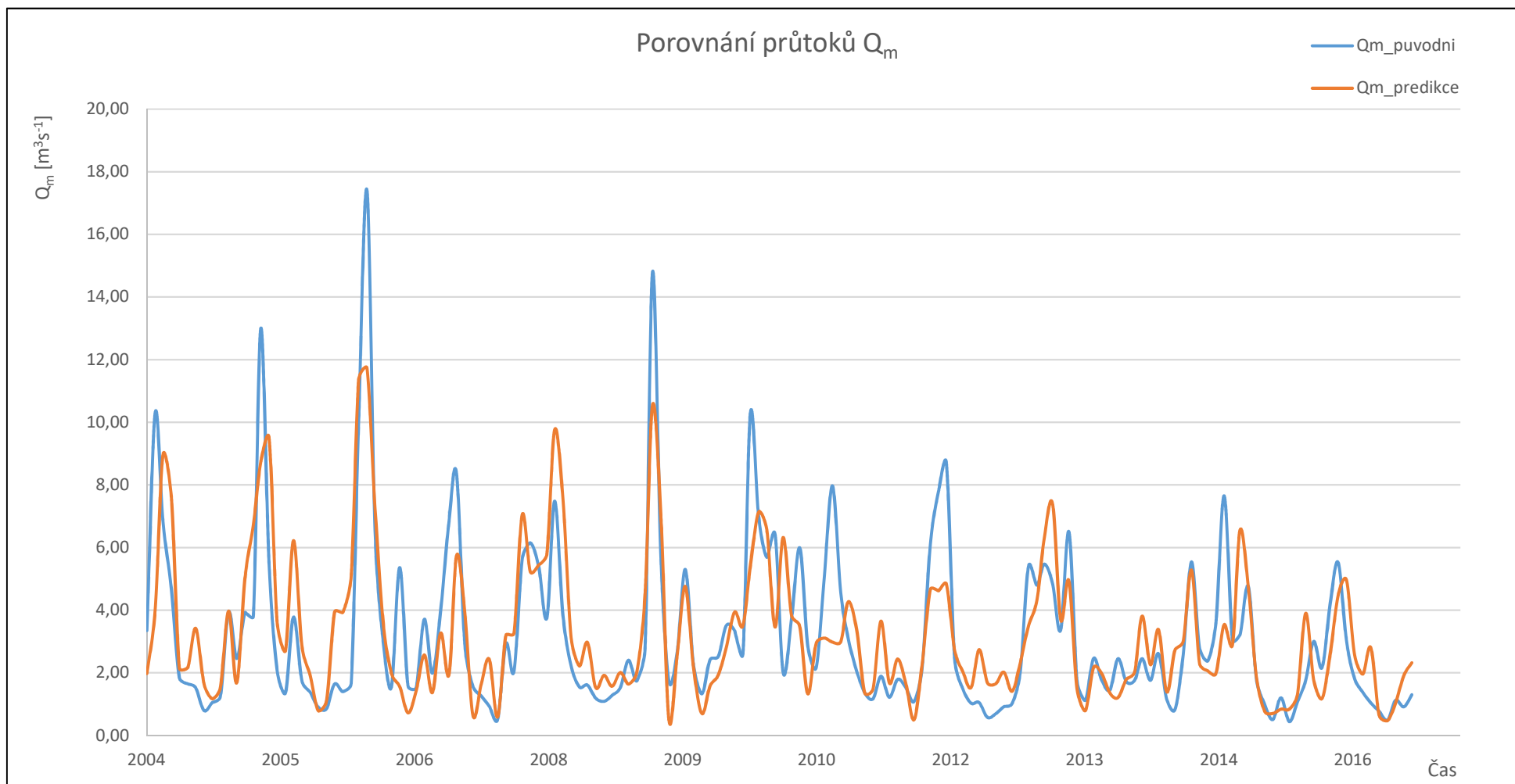
Software RunOff Prophet je kalibrován na hodnoty měřené ve sledovaném období 15.01.1964 - 15.12.2003. Jedná se o data průměrných denních průtoků. Měřené data jsou o celkovém průměru $3.23 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, s maximálním denním průtokem $17.40 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a minimálním denním průtokem $0.44 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Velikost koeficientu Nash-Sutcliffe při kalibraci modelu byla vypočtena na 0.6905013 [-].

4.2.2 Validace

Výsledné hodnoty validace programu Run-Off jsou v porovnání s původními vstupními veličinami v celkovém průměru za sledované období o $0.05 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ vyšší. Období pro validaci je zvolené z datové řady průtoků 15.01.2004 až 15.12.2016. Je třeba také zohlednit menší oscilaci vypočítaných dat. Viz *graf č. 1*, kde modrá křivka představuje průměrné denní průtoky prezentované jako $Q_{m_původní}$. Pro generované denní průměrné průtoky je zvolen název $Q_{m_predikce}$. Z prezentovaných výsledků lze vyčíst větší stálost a méně extrémů v predikované řadě. Samotný program generuje data se značnou přesností viz. *tabulka 4-1*. Pro validaci dat byla hodnota Nash-Sutcliffe 0.6904778.

Tabulka 4-1. Kalibrace, validace

	Vstupní data $Q_m [\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	Predikované data $Q_m [\text{m}^3\text{s}^{-1}]$
Průměrné Q	3.23	3.28
Maximální Q	17.4	11.72
Minimální Q	0.44	0.45



Graf 2 . Validace generovaných průtoků

4.2.3 Průměrné generované průtoky z tří hlavních meteo stanic

Mezi tři hlavní meteorologické stanice, které byli zahrnuty do downscalingu řadíme stanice Vídeň, Oravská Lesná a stanici Milešovka. Pomocí software RunOff Prophet se vygenerovali průměrné měsíční průtoky pro oblast zahrnující tři již zmíněné meteorologické stanice.

Pro vhodnější ukazatel vývoje průtokové řady od roku 2010 do 2099 byla celková průtoková řada rozdělena na tři segmenty o velikosti 29 let. Vzhledem k této skutečnosti je zde možné porovnat data blízké, střední a vzdálené budoucnosti pro 4 základní metody downscalingu: (kombinovaná metoda složená z kvantilové regrese a generativního lineárního modelu, Lineární regrese, Analogová metoda a metoda Neuronových sítí).

Kombinovaná metoda

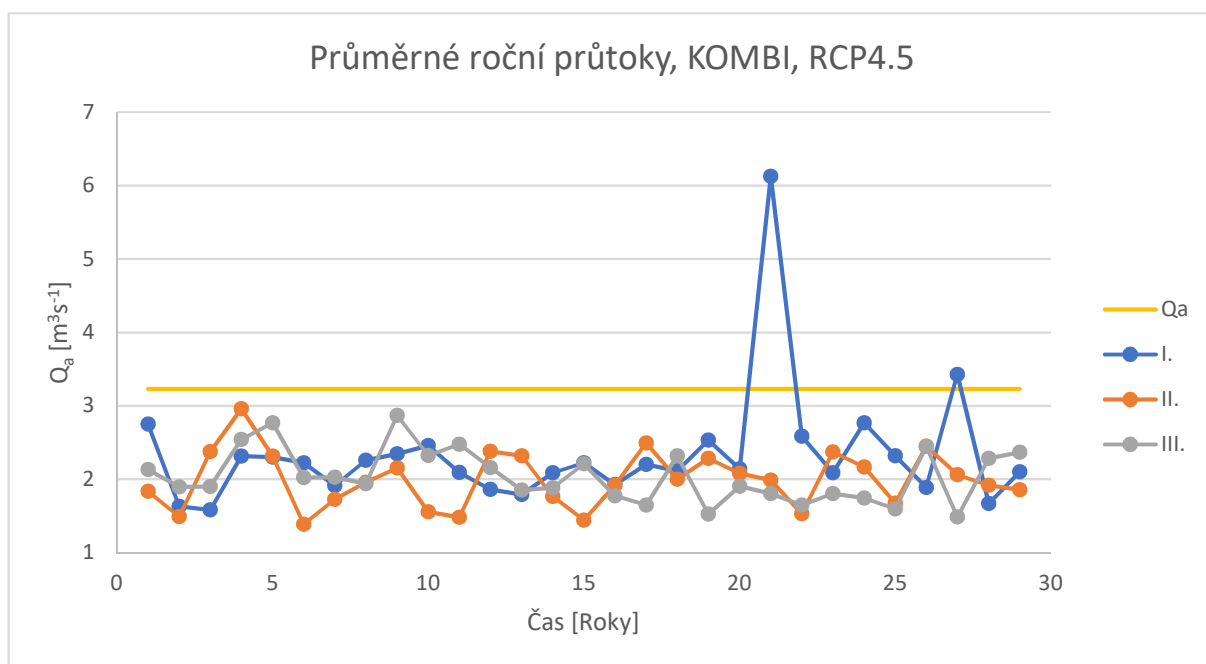
Je tvořena daty vyhodnocených ze dvou generátorů downscalingu a jejich následné kombinace.

Průtoková řada blízké budoucnosti je v rozmezí let 2010 a 2039. V grafickém znázornění se jedná o řadu „I.“, které odpovídá modré značení. S ročním průměrným průtokem $2.34 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ pro scénář RCP4.5 a v negativním scénáři RCP8.5 se již dostáváme na průměrnou hodnotu o velikosti $2.11 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, tento pokles odpovídá definici RCPs scénářů viz. *Graf č.3*.

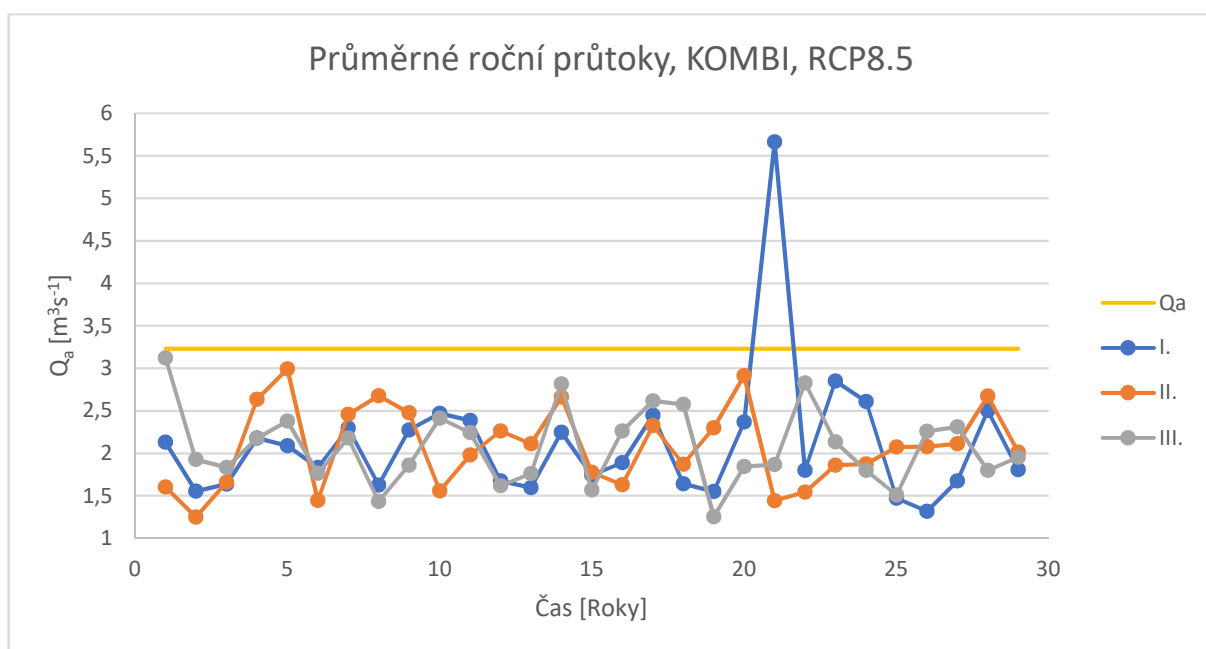
Druhé časové období střední budoucnosti (2040 – 2069) je značeno „II.“ s oranžovou linií. Zde již můžeme hovořit o téměř vyrovnaných průtocích bez větších extrémů. Pro RCP4.5 se průměr udržuje na $2.00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a následný negativní scénář je o velikosti $2.08 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Je patrná značná nevyrovnanost výsledných průtoků. Samotnou nevyrovnanost můžeme připsat kombinací dvou druhů generátoru downscalingu.

Třetí časové období vzdálené budoucnosti (2070 – 2099) je značeno „III.“ s šedou linií v grafickém záznamu. Vzhledem k celkovým odchylkám v průtokové řadě se jedná o nejstabilnější generovanou řadu ve srovnání s prvními dvěma úseky. Pro průměrné roční průtoky se vzdálená budoucnost dostává na hodnotu $2.05 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ u RCP4.5 a $2.07 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ u RCP8.5 viz. *Graf č.4*.

Výsledek kombinované metody dvou generátorů GLM a QR je značně negativní pro celkové průměrné průtoky. Zde se dostáváme pod hranici Q_a .



Graf 3 – Časový vývoj průtokového množství pro scénář KOMBI RCP4.5



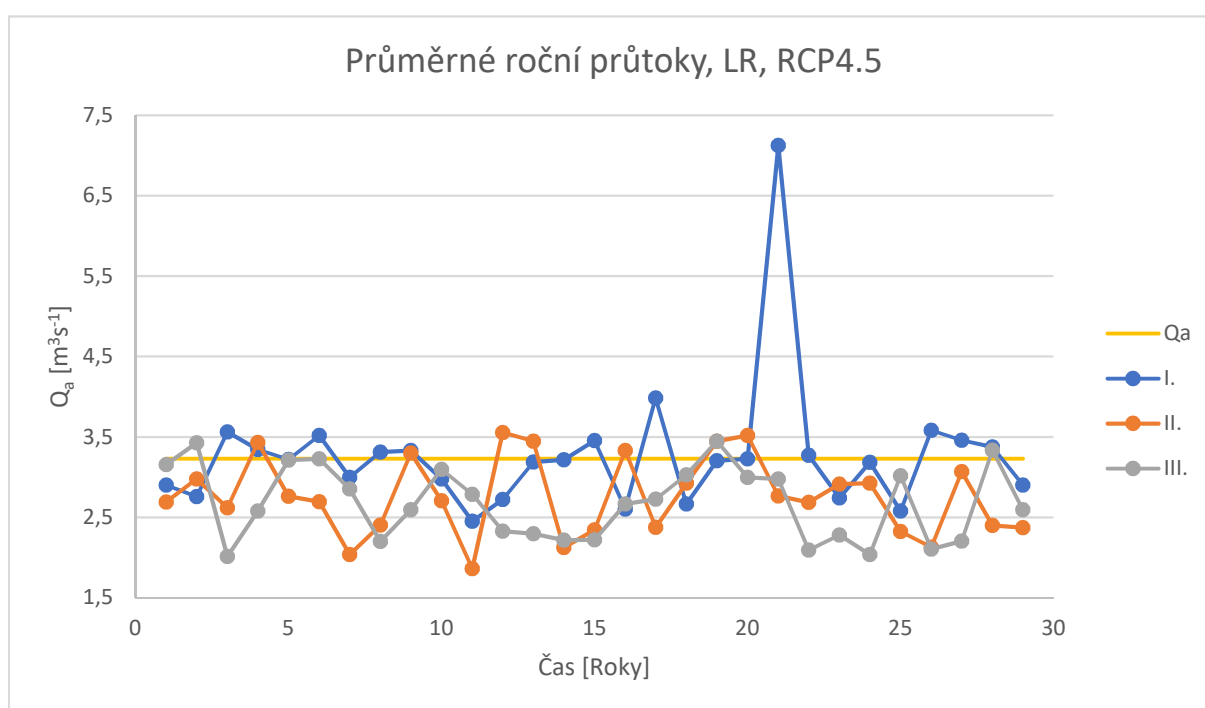
Graf 4 - Časový vývoj průtokového množství pro scénář KOMBI RCP8.5

Lineární regrese

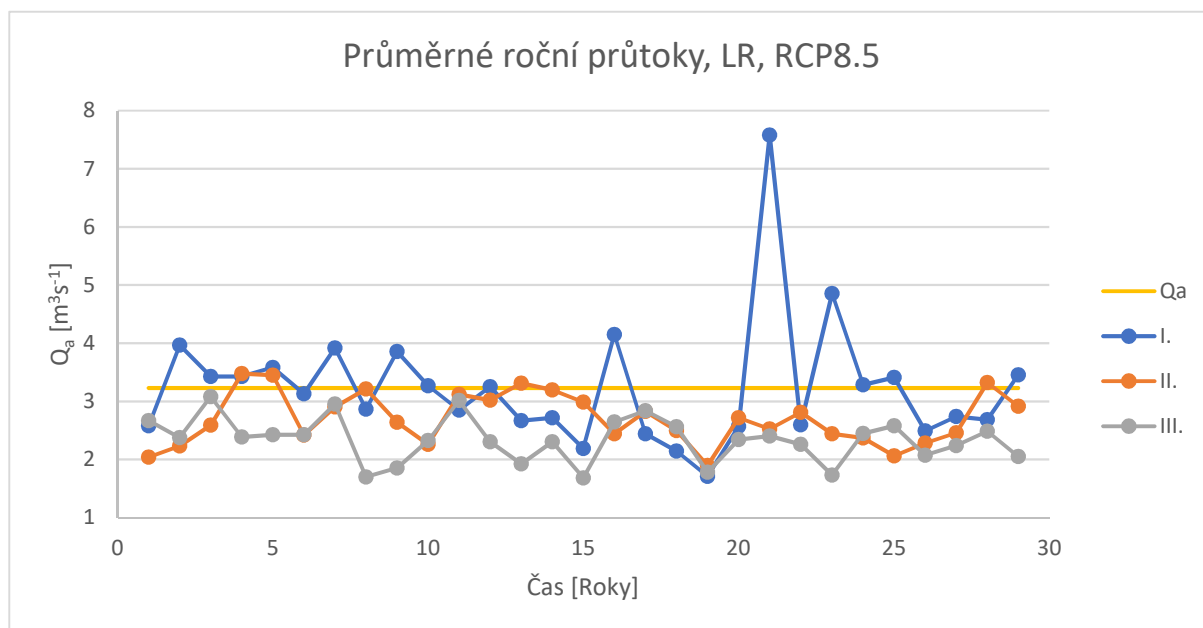
Výsledky snižování dat pomocí lineární regrese jsou značně příznivější, než-li kombinace metod GLM a QR. Celkové dlouhodobé průměry se více přibližují reálným průměrným dlouhodobým průtokům Q_a .

Blízká budoucnost v obou dvou scénářích RCPs se drží na hodnotách rovnající se nebo kolísající blízko hodnoty $3.23 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Je patrné, že se zde nachází více záporných extrémů, ale to odpovídá postupné změně klimatu a jeho dopadu na vodnosti vodních toků. Tento jev se umocňuje s přibývajícím časovým krokem.

Střední a vzdálené budoucnosti již nesplňují požadavek pro dlouhodobý průměrný průtok. Z celkového hlediska průměrné roční průtoky klesají viz. *Graf 5 a 6*.



Graf 5. Časový vývoj průtokového množství pro scénář LR RCP4.5



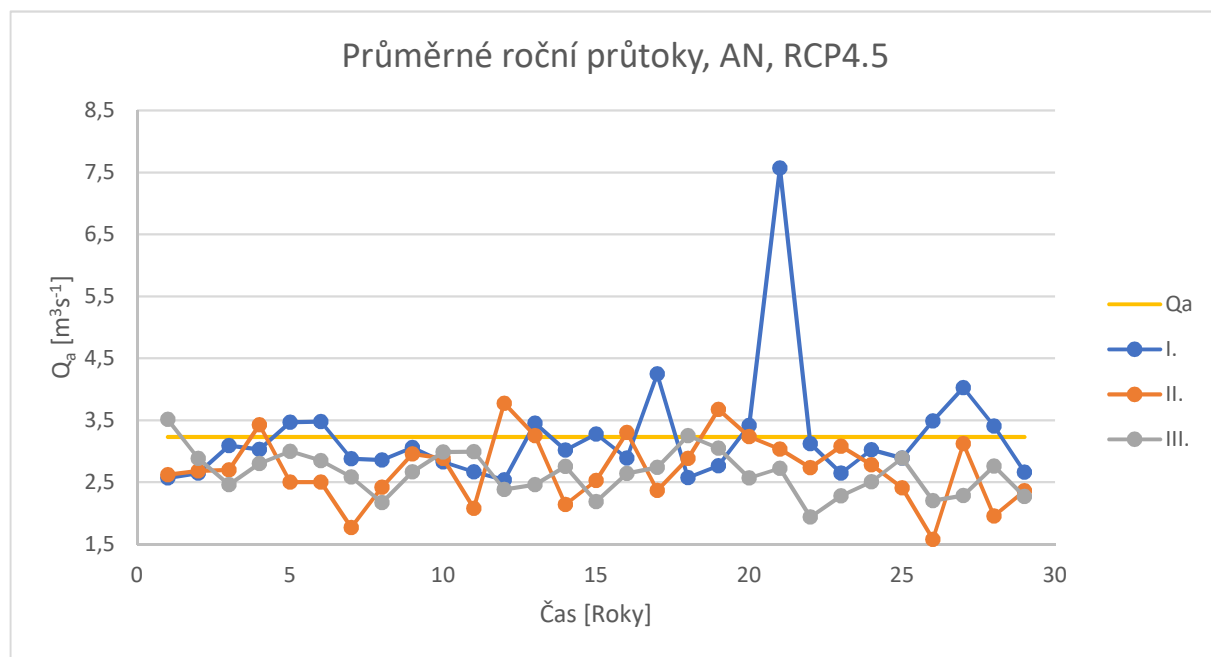
Graf 6. Časový vývoj průtokového množství pro scénář LR RCP8.5

Analogová metoda

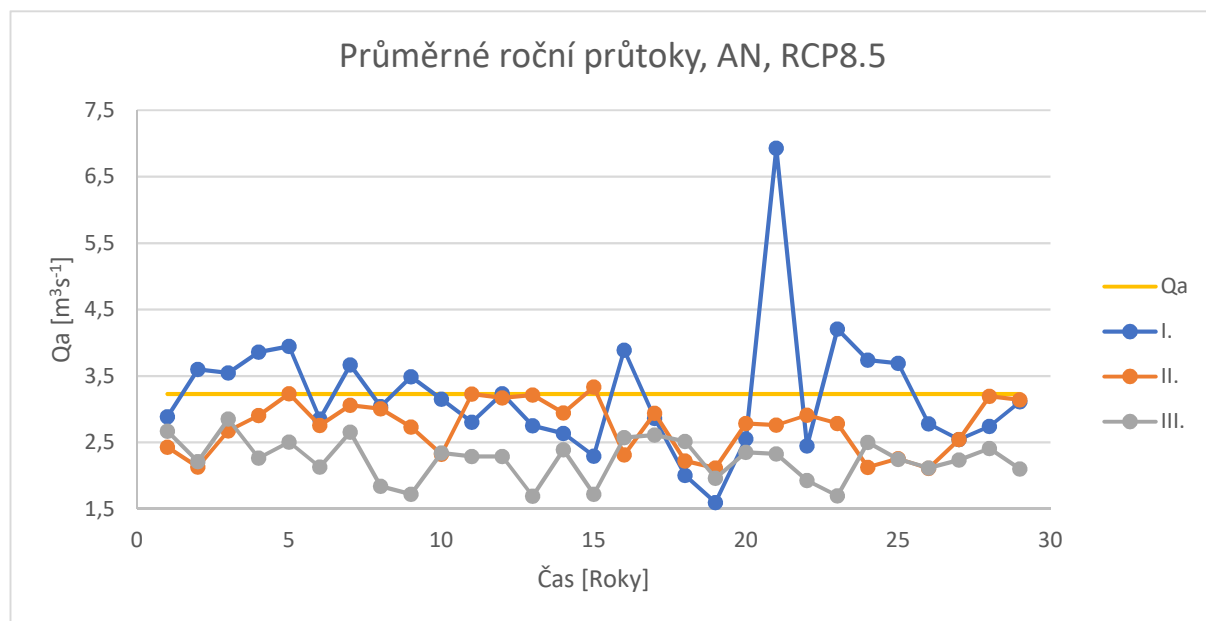
Průměrné roční průtoky blízké budoucnosti jsou ustáleny na hodnotě $3.23 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ u RCP4.5 a $3.20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ pro scénář RCP8.5. Z grafu je zřetelné, že blízká budoucnost se celkově více přibližuje srovnávací linii průměrného průtoku Q_a .

V řadě střední budoucnosti průtoky vykazují značnou nestálost. Objevují se zde velké nevyrovnanosti a vyšší počet extrémů viz. *Graf 7*.

Vzdálené budoucnosti, vykazuje klesající trend po $Q_a = 2.65 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ pro RCP4.5 a $2.25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ pro RCP8.5, tento pokles je v nejnegativnějším případě o 30 % viz. *Graf. 7 a 8*.



Graf 7. Časový vývoj průtokového množství pro scénář AN RCP4.5



Graf 8. Časový vývoj průtokového množství pro scénář AN RCP8.5

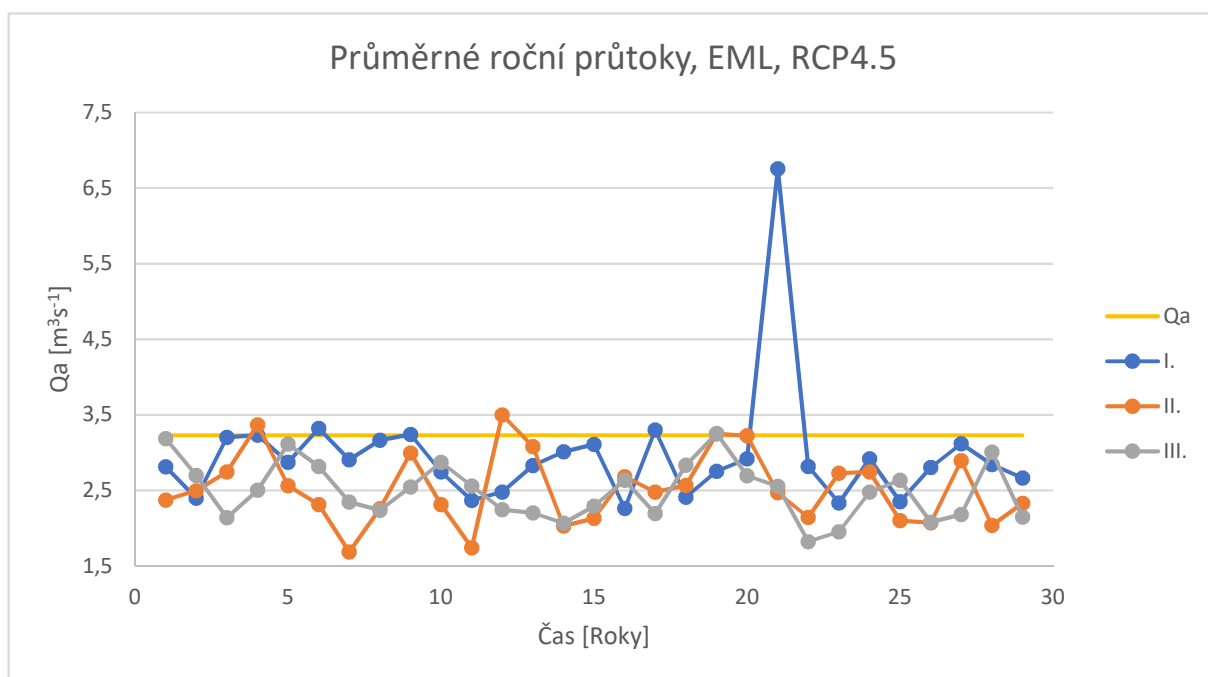
Neuronová síť

Blízká budoucnost opět jako ve všech zvolených metodách vykazuje v 21. roce značný nárůst průtočného množství. Jedná se o anomálii v celkové průtokové řadě. Samotný průtok dle výpočtů vystoupá na $Q_a = 6.76 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ viz. *Grafy 3- 10*.

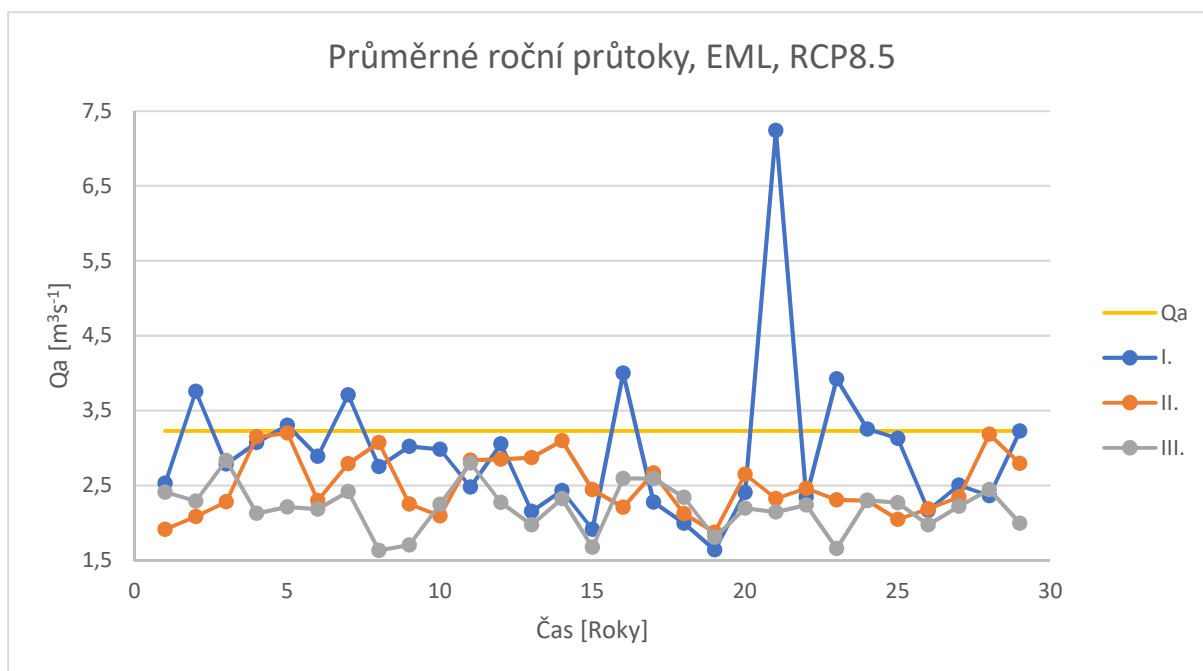
V grafu 9 a 10 porovnáváme jednotlivé blízké budoucnosti. Pro toto porovnání vykazuje scénář RCP4.5 větší stabilitu v průtočném množství než scénář RCP8.5, kde se křivka blízké budoucnosti značně rozkmitá.

Střední budoucnost vykazuje naprosto opačný vývoj průtokové křivky. Ale v celkovém průměru je nižší než-li blízká budoucnost.

Vzdálená budoucnost hovoří už o jisté ustálenosti a menšímu počtu extrémů v jednotlivých letech. Ve scénáři RCP4.5 jsme schopni se v rámci 2 let z 29 řešených dostat na průměrnou hodnotu Q_a . V ostatních 27 prezentovaných rocích je průtok značně podhodnocen viz. *Graf 9*.



Graf 9. Časový vývoj průtokového množství pro scénář EML RCP4.5



Graf 10. Časový vývoj průtokového množství pro scénář EML RCP8.5

4.3 APLIKACE UNCE CLIMATE CHANGE SOFTWARE

UNCE Climate Change software je využit k výpočtu druhé úlohy zabezpečení odtoku vody z nádrže. Druhá úloha je definována jako zabezpečení dle trvání.

Jako výstupní hodnoty jsou řešeny jednotlivé řady O_p a P_t vztažené k základní průtokové řadě složené z jednotlivých klimatických scénářů, každý scénář je definován svým specifickým průměrným průtokem.

4.3.1 Vstupní veličiny

Výpočet zabezpečení nalepšeného odtoku:

1. Zabezpečení dle trvání:

P_t – je dána poměrem skutečného trvání bezporuchového odtoku vody k celkovému trvání zkoumaného období

2. Zabezpečení dle dodávky vody:

P_d – je dána poměrem skutečně oteklého množství vody k plánovanému oteklému množství vody ve zkoumaném období.

VÝPOČET ZABEZPEČENOSTI ZÁSOBNIHO OBJEMU NÁDRŽE S UVAŽOVÁNÍM KLIMATICKÉ ZMĚNY

Výpočet zabezpečení nalepšeného odtoku vody z nádrže
proveden s uvažováním klimatických scénářů

Zadej počet let sledovaného období
90

Zadej počet prvků bytagrafické křivky
74

Nacíst/upravit bytagrafické křivky

Zadej počátek referenčního období
1961

Zadej konec referenčního období
2051

☐ Výpočet podle Alfa ☒ Výpočet podle Op

Zadej hodnotu nalepšeného odtoku Op
253

Zadej hodnotu přibližné velikosti objemu stálého nadřezání 0 až 100%
12.12

Zadej velikost zásobního objemu nádrže Vz
44056000

Zadej počet realizací klimatických scénářů
32

Výpočet výparu

☒ Jednoduchá metoda (využití CSN) ☐ Složitá metoda (uvažování klimatických změn)

Zadej hodnotu průměrného ročního výparu [mm]
700

Nacíst původní hodnoty rozložení dle CSN

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Em [%]	1	2	6	9	12	14	16	15	11	7	5	2

Uložit a spustit výpočet

Ukončit formulář

Obrázek 13 - Základní nastavení programu UNCE

Součinitel α je ukazatelem stupně vyrovnanosti a regulace odtoku v profilu toku.

$$\alpha = \frac{O_p}{Q_a}, \quad \alpha = < 0,1 >$$

Návrhovou zabezpečeností rozumíme pravděpodobnost nepřekročení mezního návrhového variačního rozpětí řízeného odtoku. Požadovanou dolní mez značíme jako O_p (minimální nalepšený odtok).

Stav kdy $\alpha = 0$ a tudíž $O_p = 0$ odpovídá prostému jímání přítoku. Součinitel α je tedy ukazatelem stupně vyrovnanosti a regulace odtoku v profilu toku.

Nejistoty vycházející z klimatických modelů emisních scénářů jsou zjednodušeně zohledněny ve formě střední hodnoty. Dále není uvažováno s dalšími statistickými charakteristikami jako jsou směrodatná odchylka, koeficient variace, hodnoty minima a maxima.

4.3.2 Vyhodnocení zabezpečení dle trvání

Pro fixní hodnotu zásobního objemu nádrže byl proveden výpočet její zabezpečení dle proměnného koeficientu α . Tato situace je počítána pro predikované průtočné množství. Jedná se kombinaci 16 RCP4.5 scénářů, dále pak 16 scénářů RCP8.5 a kombinaci těchto dvou druhů RCPs scénářů pro lepší celkové zobrazení možného budoucího vývoje P_t a O_p .

Postupný vývoj v blízké, střední a vzdálené budoucnosti vyjadřuje růst zabezpečení nádrže na úkor nalepšeného odtoku, který se systematicky snižuje. Tato skutečnost je zobrazena v grafech 14. 15. a 16., s každým grafem souvisí tabulka, kde jsou prezentovány i vstupní hodnoty O_p .

Veškeré hodnoty pro P_t a O_p vyjádřené v tabulkách. jsou celkové průměrné hodnoty pro jednotlivé scénáře v daném časovém kroku. Časové kroky jsou rozděleny na I. (2010 – 2039), II. (2040 – 2069), III. (2070 – 2099). Toto rozdělení je v rámci přehlednosti vypočtených výsledných hodnot a možnosti reakce na jednotlivé kratší predikované časové úseky. V rámci sta let by nebylo možné pojmout menší či větší extrémy v zabezpečení či nalepšenosti minimálních průtoku nádrže.

Vyhodnocení scénáře RCP4.5

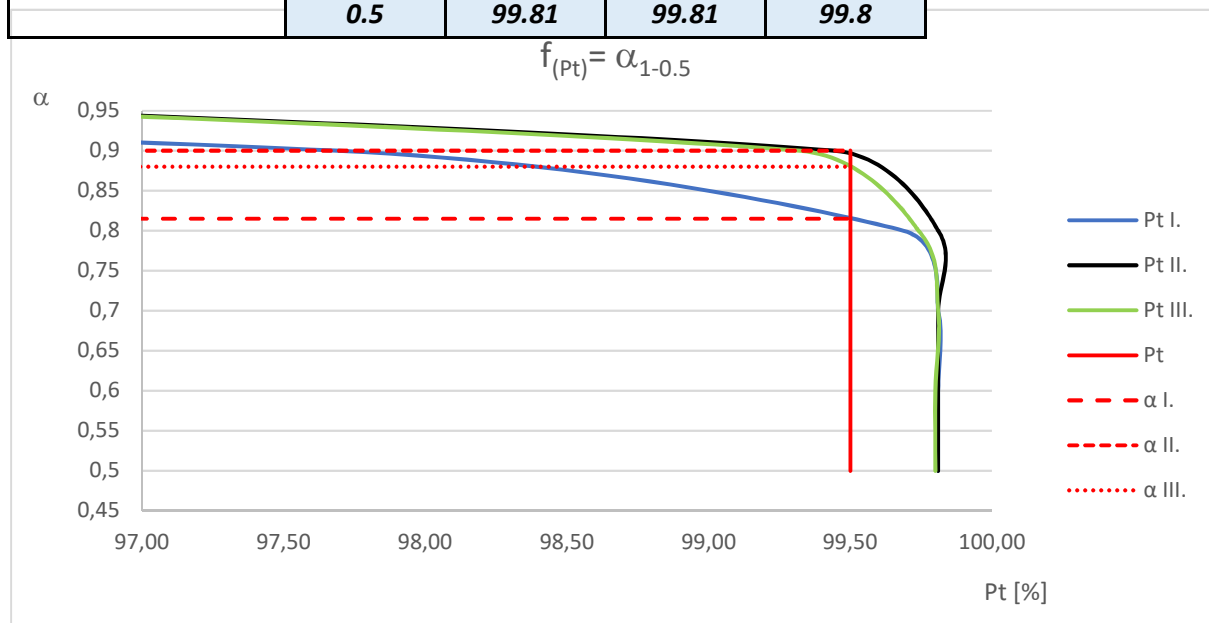
Zásobní objem zvolené nádrže je na úrovni 44 056 00 m³, tato vstupní hodnota je pro následné výpočty stabilní. V tabulce 4-2. je zobrazen postupný vývoj zabezpečení P_t při proměnném koeficientu α a s dalším vývojem O_a sloužícím jako vstupní hodnoty výpočtu zabezpečení nádrže.

P_t s přibývajícím časovým obdobím neustále roste při velikosti $\alpha = 1$. Pro hodnotu 0.9 se jedná o značný výkyv v prvním časovém období, o necelých 1.75 % vzhledem druhému a třetímu období. Pro $\alpha = 0.8$ se již P_t vyrovnává, jsou zde zanedbatelné malé odchylky jednotlivých časových úseků. Pro zbylé hodnoty jsou P_t ve všech časových obdobích i v rámci koeficientu α téměř vyrovnané a postupně se ustálí na $P_t \approx 99.8$ %.

V blízké budoucnosti po odečtení z grafu 11 byla stanovena mezní hodnota α na 0.815, pro střední budoucnost se jedná o 0.9 a vzdálenou budoucnost hodnota klesá na 0.88.

Tabulka 4-2. Procentuální zastoupení P_t pro RCP4.5

$V_z [m^3]$	$\alpha [-]$	$P_t \text{ I.} [\%]$	$P_t \text{ II.} [\%]$	$P_t \text{ III.} [\%]$
44 056 000	1	87.75	92.87	92.89
	0.9	97.69	99.44	99.32
	0.8	99.69	99.81	99.74
	0.7	99.81	99.81	99.81
	0.6	99.81	99.81	99.8
	0.5	99.81	99.81	99.8



Graf 11. Zabezpečení nádrže pro RCP4.5 scénář

Vyhodnocení scénáře RCP8.5

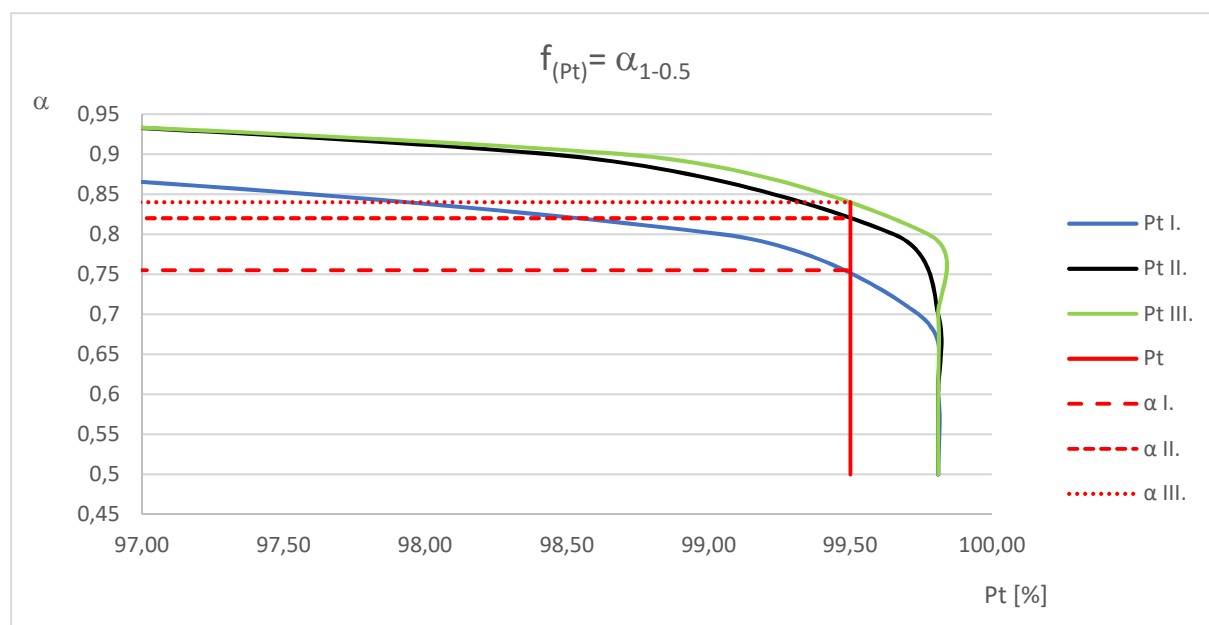
Tabulka 4-3 porovnává P_t v jednotlivých časových intervalech. Zabezpečení v blízké budoucnosti se dle výpočtu ustálí až na velikosti koeficientu $\alpha = 0.6$, pro střední budoucnost platí velikost 0.7 a stejná hodnota je vyjádřena pro vzdálenou budoucnost.

Při velikosti $\alpha = 0.8$ a 0.9 P_t stabilně roste vzhledem k délce časového kroku. Jen u $\alpha = 1$ se nejedná o průběžný růst. Zde střední budoucnost je hodnocena jako nejvyšší vypočtená zabezpečení.

V rámci grafického odečtu dat je pro úsek blízké budoucnosti mezní hodnota koeficientu $\alpha = 0.755$, pro střední je zvýšen na 0.82 a vzdálenou budoucnost má velikost 0.84 viz. Graf č. 1.

Tabulka 4-3. Procentuální zastoupení P_t pro RCP8.5

$V_z [m^3]$	$\alpha [-]$	$P_t \text{ I.} [\%]$	$P_t \text{ II.} [\%]$	$P_t \text{ III.} [\%]$
44 056 000	1	84.67	93.11	92.42
	0.9	95.14	98.44	98.7
	0.8	99.05	99.65	99.78
	0.7	99.74	99.81	99.81
	0.6	99.81	99.81	99.81
	0.5	99.81	99.81	99.81



Graf 12. Zabezpečení nádrže pro RCP8.5 scénář

Vyhodnocení kombinace scénářů RCP4.5 a RCP8.5

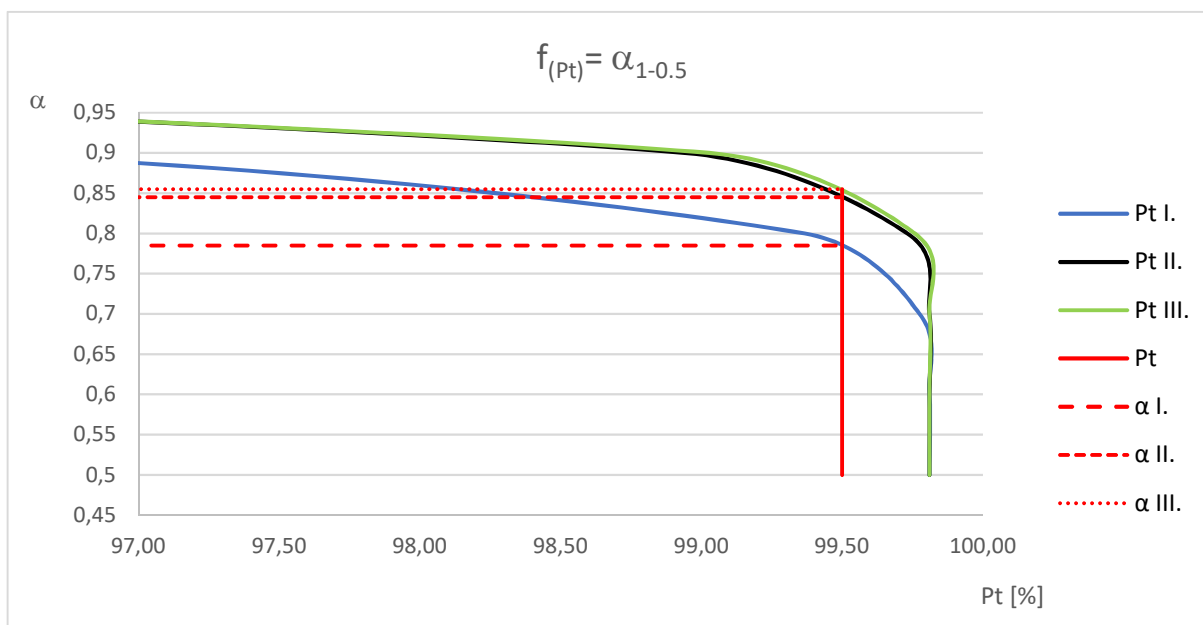
Doposud byly rozebírány dílčí části celkového obrazu zabezpečení vztaženého na proměnou α . Celkové vyhodnocení zohledňuje veškeré nevyrovnanosti v jednotlivých scénářích a ukazuje celkový obraz generovaných a následně vypočtených hodnot blízké, střední a vzdálené budoucnosti.

V tabulce 4-4 jsou vidět značné vyrovnanosti v zabezpečení a splnění požadovaného minima již u hodnoty $\alpha = 0.8$, kde je v blízké budoucnosti 13 % záporná odchylka, ale v celkovém hodnocení za celé období $\alpha = 0.8$ vyhoví požadavku zabezpečení. Pro přehlednější vyhodnocení je tabulka aplikovaná do grafické podoby s číslem grafu 13.

Mezní hodnoty blízké budoucnosti pro splnění zabezpečení je na úrovni 0.785, pro střední budoucnost roste na 0.845 a vzdálená budoucnost již je na hodnotě $\alpha = 0.855$.

Tabulka 4-4. Procentuální zastoupení P_t pro kombinaci scénářů

$V_z [m^3]$	$\alpha [-]$	$P_t \text{ I.} [\%]$	$P_t \text{ II.} [\%]$	$P_t \text{ III.} [\%]$
44 056 000	1	86.08	93	92.85
	0.9	96.33	98.94	99.03
	0.8	99.37	99.73	99.76
	0.7	99.78	99.81	99.81
	0.6	99.81	99.81	99.81
	0.5	99.81	99.81	99.81



Graf 13. Zabezpečení nádrže pro kombinaci RCP4.5/8.5 scénářů

4.3.3 Vzájemný vztah mezi O_p [m^3s^{-1}] a P_t [%]

Vyhodnocení scénáře RCP4.5

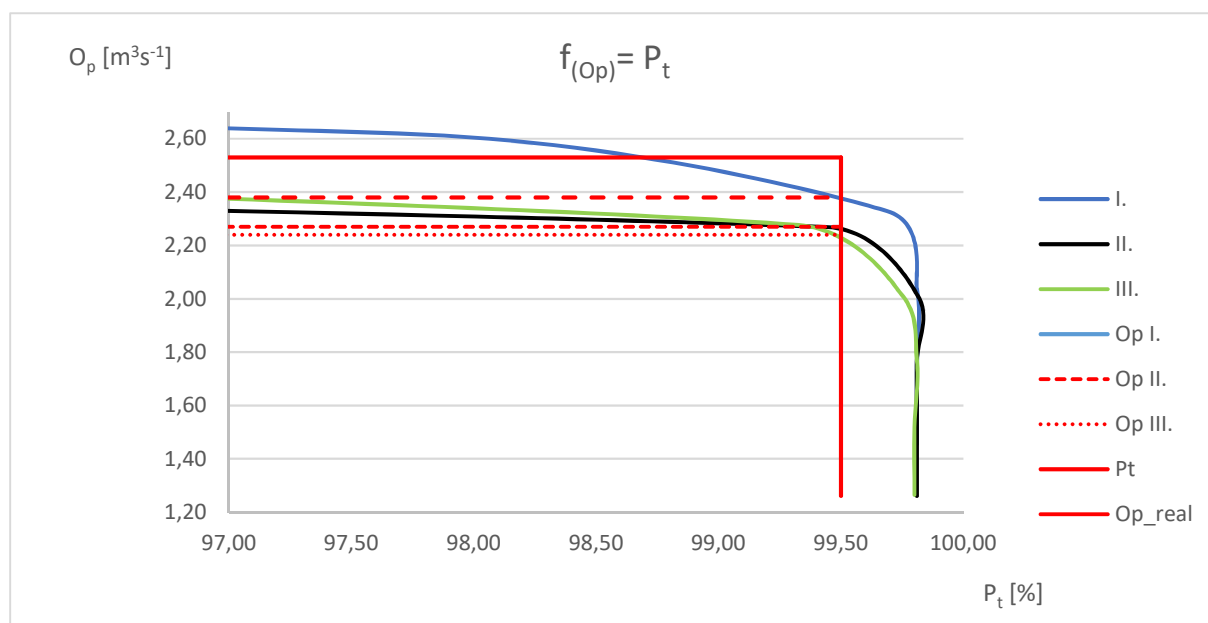
Tabulka 4-5 vyjadřuje srovnání O_p a P_t v jednotlivých časových krocích blízké, střední a vzdálené budoucnosti. Ve všech posloupnostech je patrná závislost snižování O_p a zároveň zvyšování P_t .

Pro optimální zabezpečení jsou z grafu 14 odečteny hodnoty O_p I. $2.38 m^3s^{-1}$, O_p II. $2.27 m^3s^{-1}$ a O_p III. $2.29 m^3s^{-1}$. Veškeré hodnoty jsou menší než-li je aktuální hodnota O_p $2.53 m^3s^{-1}$.

Při přepočtu se v blízké budoucnosti sníží O_p o $0.15 m^3s^{-1}$, ve střední o $0.26 m^3s^{-1}$ a ve vzdálené budoucnosti o $0.29 m^3s^{-1}$.

Tabulka 4-5. Vývoj O_p v závislosti P_t , RCP4.5

$V_z [m^3]$	O_p I. [m^3s^{-1}]	O_p II. [m^3s^{-1}]	O_p III. [m^3s^{-1}]	P_t I. [%]	P_t II. [%]	P_t III. [%]
44 056 000	2.91	2.52	2.53	87.75	92.87	92.42
	2.62	2.27	2.28	97.69	99.44	99.32
	2.33	2.02	2.02	99.69	99.81	99.74
	2.04	1.76	1.77	99.81	99.81	99.81
	1.75	1.51	1.52	99.81	99.81	99.8
	1.46	1.26	1.27	99.81	99.81	99.8



Graf 14. Zabezpečení nádrže pro RCP4.5 scénář

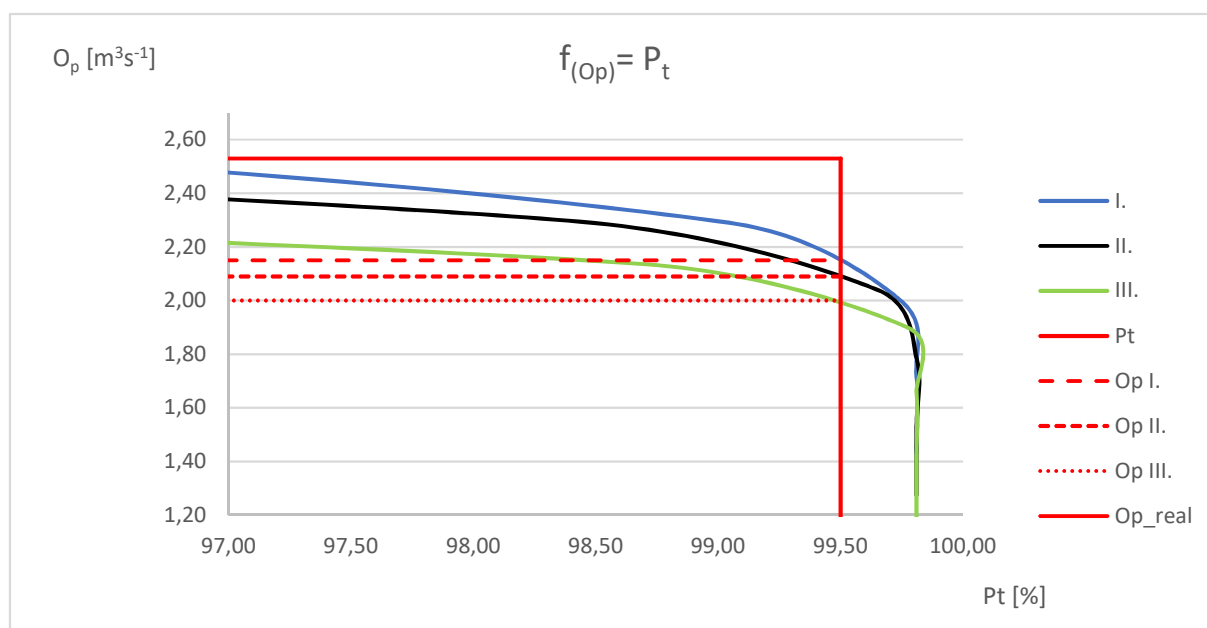
Vyhodnocení scénáře RCP8.5

Z tabulky 4-6 vyplývá neustálé snižování O_p a přímo úměrným snižováním v rámci časové řady. O pět při snížení O_p stoupá hodnota zabezpečení nádrže dle trvání.

Při tomto značně negativním scénáři jsou minimální O_p pro jednotlivé časové úseky značně podhodnoceny. Pro blízkou budoucnost se jedná o velikost $2.15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ s rozdílem od požadované hodnoty $0.38 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Ve střední budoucnosti hodnota O_p stále klesá na $2.09 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ s rozdílem $0.44 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a ve vzdálené budoucnosti se hodnota O_p dostává na $2.00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ což odpovídá $0.53 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ rozdílu v průtočném množství viz. Graf 15.

Tabulka 4-6. Vývoj O_p v závislosti P_t , RCP8.5

$V_z [\text{m}^3]$	$O_p \text{ I.} [\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$O_p \text{ II.} [\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$O_p \text{ III.} [\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$P_t \text{ I.} [\%]$	$P_t \text{ II.} [\%]$	$P_t \text{ III.} [\%]$
44 056 000	2.86	2.55	2.37	84.67	93.11	92.42
	2.58	2.29	2.14	95.14	98.44	98.7
	2.29	2.04	1.9	99.05	99.65	99.78
	2	1.78	1.66	99.74	99.81	99.81
	1.72	1.53	1.42	99.81	99.81	99.81
	1.43	1.27	1.19	99.81	99.81	99.81



Graf 15. Zabezpečení nádrže pro RCP8.5 scénář

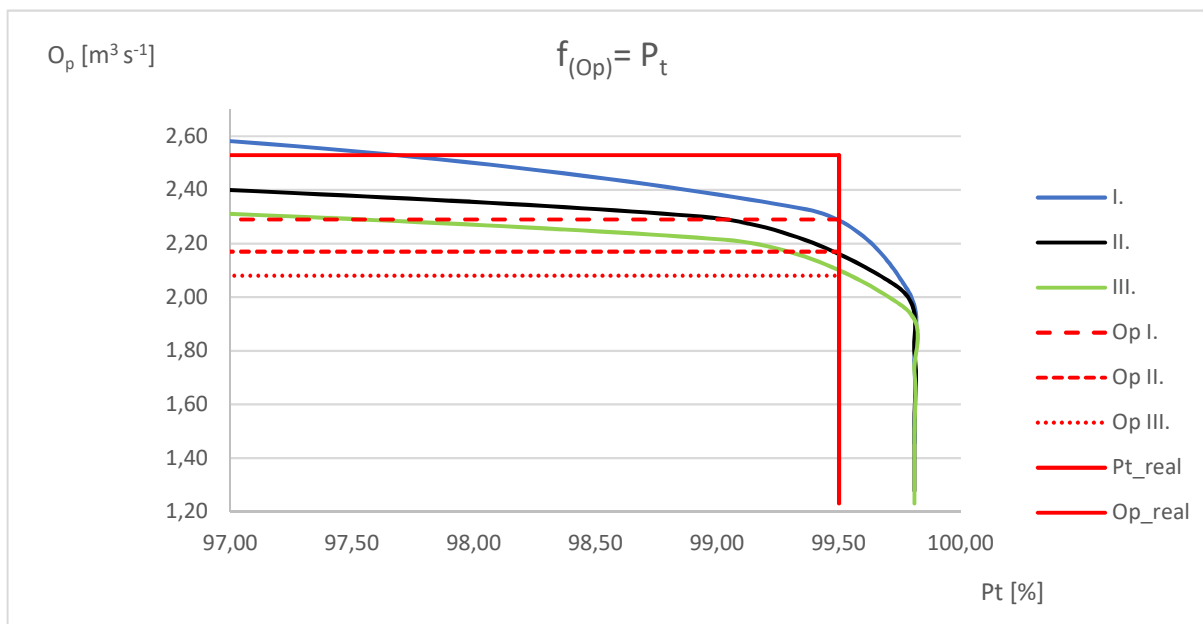
Vyhodnocení kombinace scénářů RCP4.5 a RCP8.5

Celkové transparentní vyhodnocení při kombinaci scénářů RCP4.5 a RCP8.5 udává optimální úpravu O_p pro jednotlivé časové úseky, v detailním zobrazení viz. *Tabulka 4-7* a její grafickém zobrazení č.16.

V blízké budoucnosti se jedná snížení aktuální hodnoty O_p o $0.24 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ na velikost $2.29 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, ve střední dochází ke snížení o $0.36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ na $2.17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a ve vzdálené budoucnosti snížení o $0.45 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ na minimální průtočné množství $2.08 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Tabulka 4-7. Vývoj O_p v závislosti na P_t , kombinace scénářů

$V_z [\text{m}^3]$	$O_p \text{ I.} [\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$O_p \text{ II.} [\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$O_p \text{ III.} [\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$P_t \text{ I.} [\%]$	$P_t \text{ II.} [\%]$	$P_t \text{ III.} [\%]$
44 056 000	2.91	2.56	2.46	86.08	93	92.85
	2.62	2.3	2.21	96.33	98.94	99.03
	2.33	2.04	1.97	99.37	99.73	99.76
	2.04	1.79	1.72	99.78	99.81	99.81
	1.75	1.53	1.48	99.81	99.81	99.81
	1.45	1.28	1.23	99.81	99.81	99.81



Graf 16. Zabezpečení nádrže pro kombinaci RCP4.5/8.5 scénářů

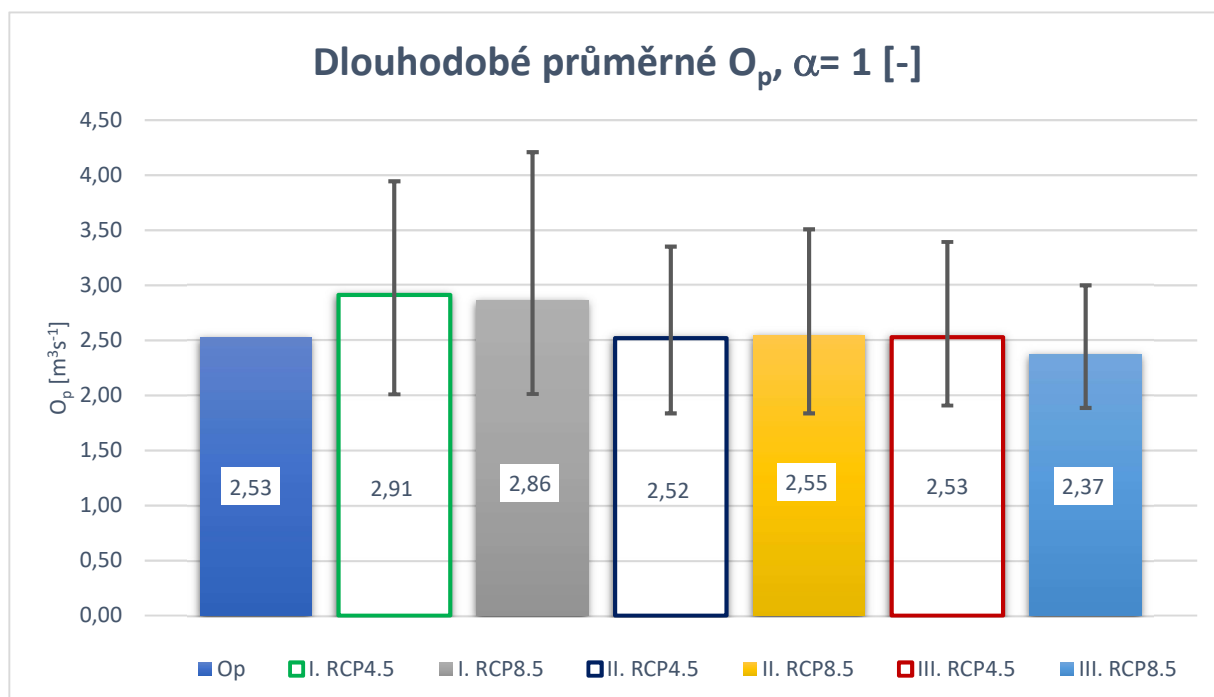
4.3.4 Hodnocení dle koeficientu α

V kapitole hodnocení dle koeficientu α je vyjádřen postupný vývoj O_p v závislosti na měnícím se koeficientu α . Tento vývoj je hodnocen pro jednotlivé scénáře v časovém období, které je rozděleno na úseky blízké, střední a vzdálené budoucnosti a následné porovnání s aktuální hodnotou O_p .

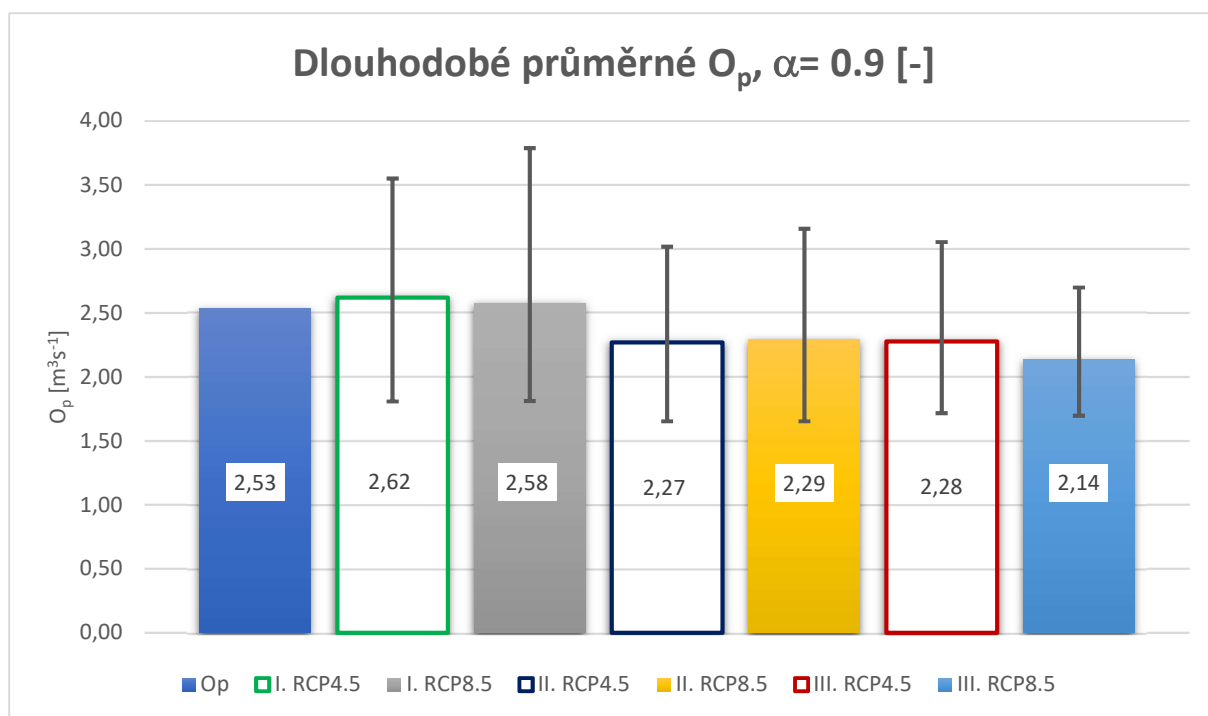
Pro proměnný součinitel α o velikosti 1 by měli minimální nalepšené průtoky odpovídat průměrným průtokům vypočítaným ze zadaného O_p . Při zpětné kontrole jsou hodnoty shodné.

Vzdálená budoucnost pro emisní scénář RCP8.5 se jeví jako nejvíce negativní scénář, kde jeho průměrná hodnota se rovná $2.37 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. V porovnání s aktuálním minimálním nalepšeným odtokem je o $0.16 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ menší.

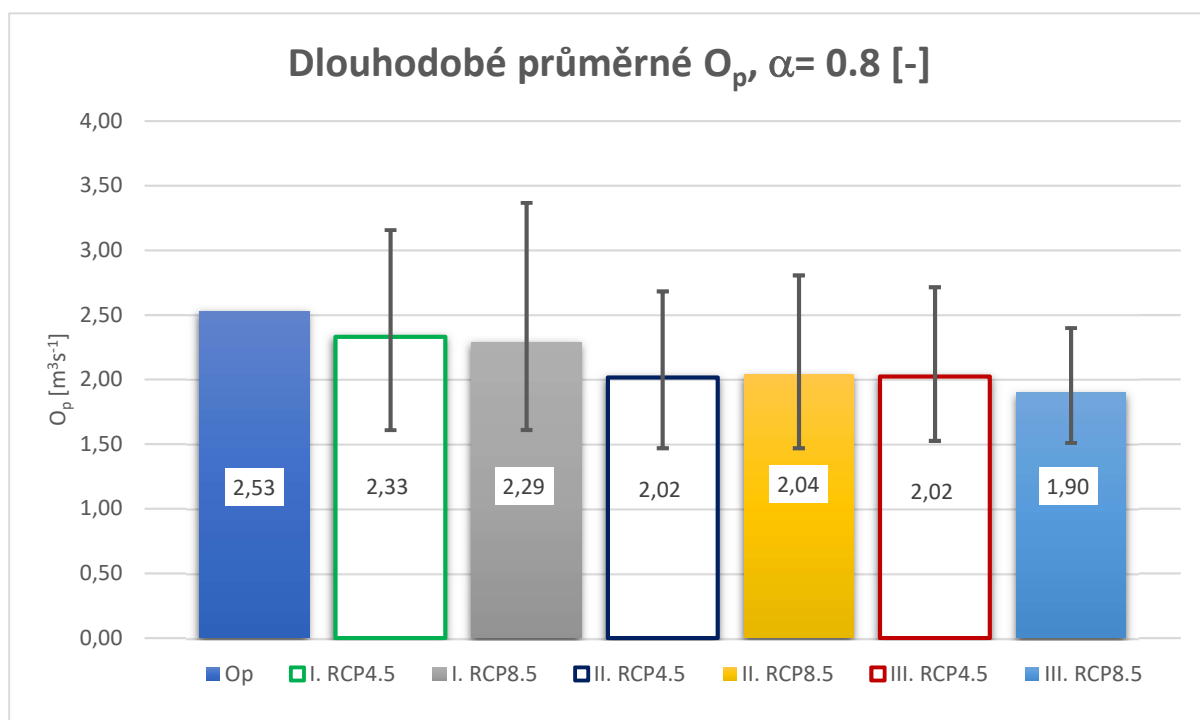
Graf také obsahuje chybové úsečky. Tyto úsečky udávají reálnější pohled na dlouhodobé průměrné průtokové řady. Jsou zde zobrazeny minimální a maximální hodnoty u každého scénáře v jednotlivém časovém období. V následujících grafických výstupech je zobrazeno postupné snižování koeficientu α až na hodnotu 0.7 a jeho dopad na vývoj průměrného minimálního dlouhodobého průtoku.



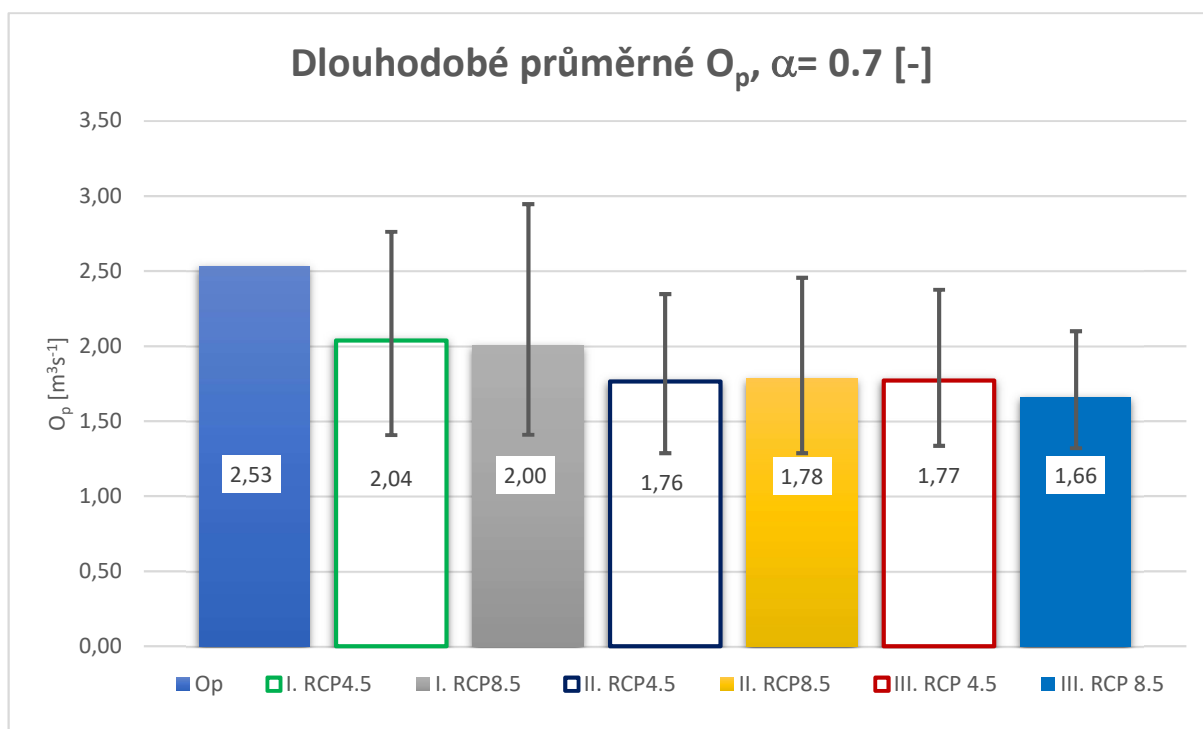
Graf 17. Vývoj O_p v čase pro $\alpha=1$



Graf 18. Vývoj O_p v čase pro $\alpha=0.9$



Graf 19. Vývoj O_p v čase pro $\alpha=0.8$



Graf 20. Vývoj O_p v čase pro $\alpha=0.7$

4.3.5 Hodnoty odchylek a průměrných hodnot z grafického vyjádření

Jak již bylo napsáno, tak při zadaném O_p pro první výpočet a $\alpha = 1$ a pro druhý si jednotlivé veličiny odpovídají, což potvrzuje správnost výpočtu. Dále pak s klesajícím koeficientem α klesá i průměrný minimální průtok. S tím souvisí i veškeré extrémní hodnoty jako minimální a maximální průtočné množství.

Tabulka 4-8. Hodnoty jednotlivých odchylek

	Průměrné průtoky [m^3s^{-1}]	Min. průtoky [m^3s^{-1}]	Max. průtoky [m^3s^{-1}]
O_p	2.64	1.84	4.21
$\alpha = 1$	2.64	1.84	4.21
$\alpha = 0.9$	2.38	1.65	3.79
$\alpha = 0.8$	2.11	1.47	3.37
$\alpha = 0.7$	1.85	1.29	2.95

4.3.6 Vyhodnocení zabezpečení dle trvání P_t , $O_p = 2.53 \text{ [m}^3\text{s}^{-1}\text{]}$

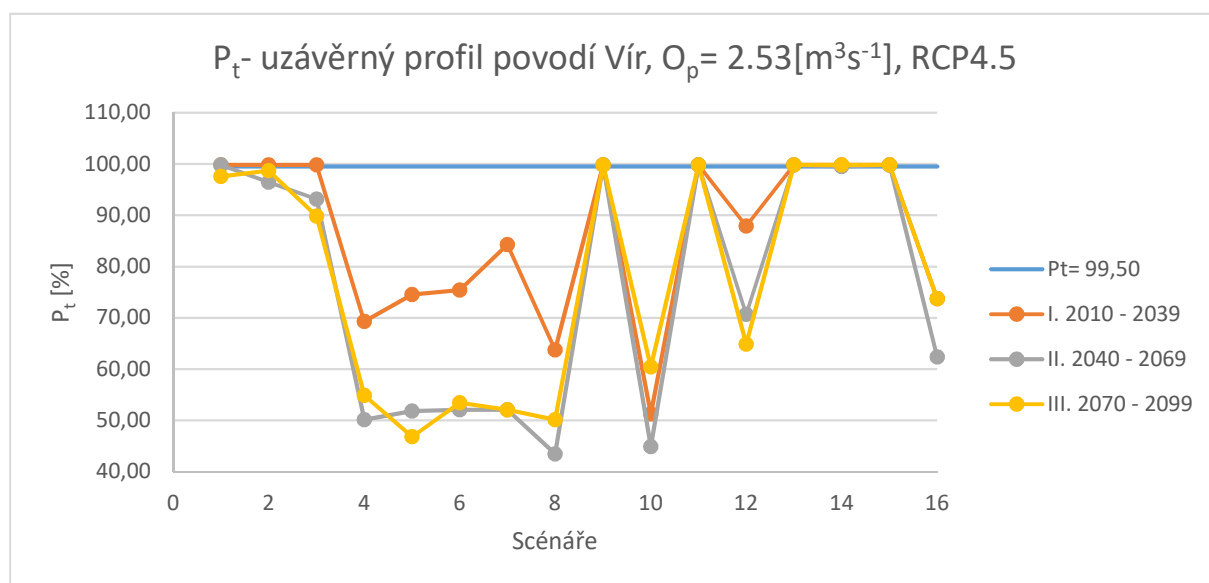
Porovnání zabezpečení dle trvání vzhledem k RCP4.5/8.5.

Mezi scénáře s největším podílem zabezpečení na hodnotě 99.50 % nebo více řadíme první časový úsek (blízkou budoucnost.).

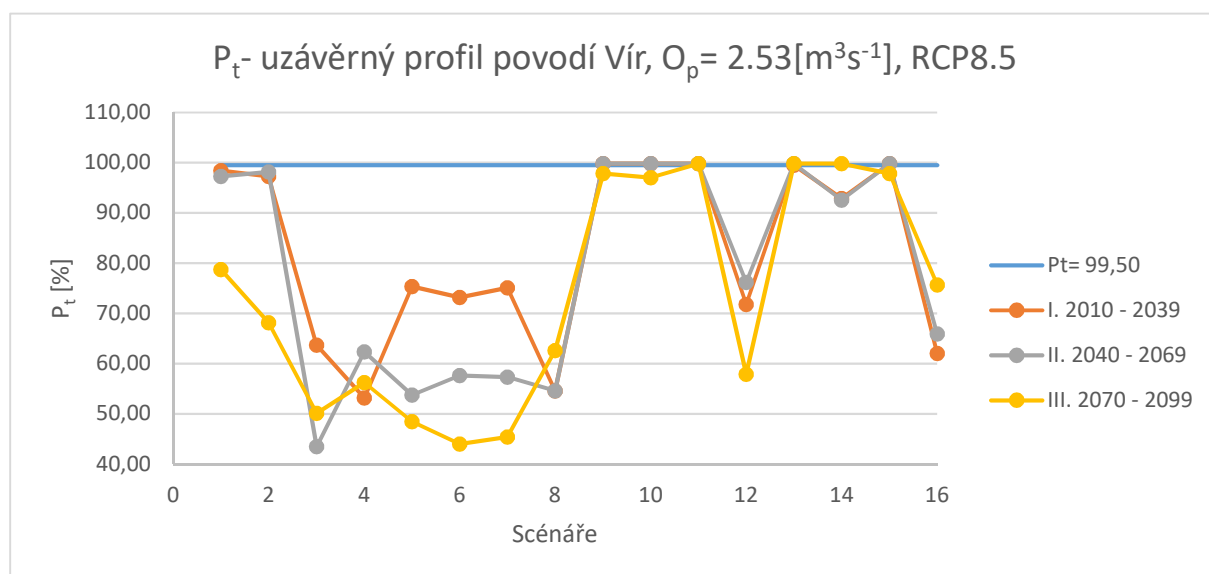
Ve střední a vzdálené budoucnosti průměrná zabezpečení P_t klesá a s tím rovněž klesá počet scénářů, které jsou schopny $P_t = 99.50 \%$ zabezpečit.

Značné negativní extrémy obsahují scénáře 4 - 8 a 10. scénář pro RCP4.5 viz *graf. 21*,

Pro grafické vyjádření RCP8.5 řadíme negativní scénáře 3 - 8 scénář.



Graf 21. Vývoj RCP4.5 scénářů pro P_t při fixním O_p



Graf 22. Vývoj RCP8.5 scénářů pro P_t při fixním O_p

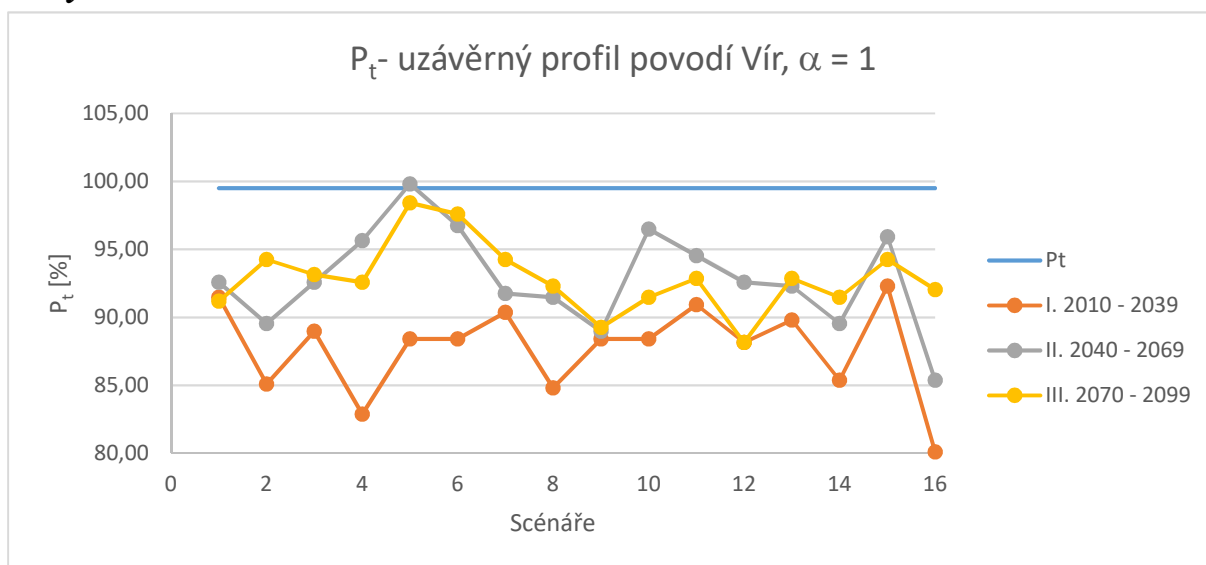
4.3.7 Vyhodnocení zabezpečení dle trvání P_t , $\alpha = 1 - 0.8$

Pro pozitivnější vývoj koncentrací skleníkových plynů nám nejpříznivější výsledky zabezpečení udává koeficient $\alpha = 0.8$ a méně. Od této hodnoty se jedno o stoprocentní zabezpečení vztaženou na minimální požadovanou hodnotu 99.50 %.

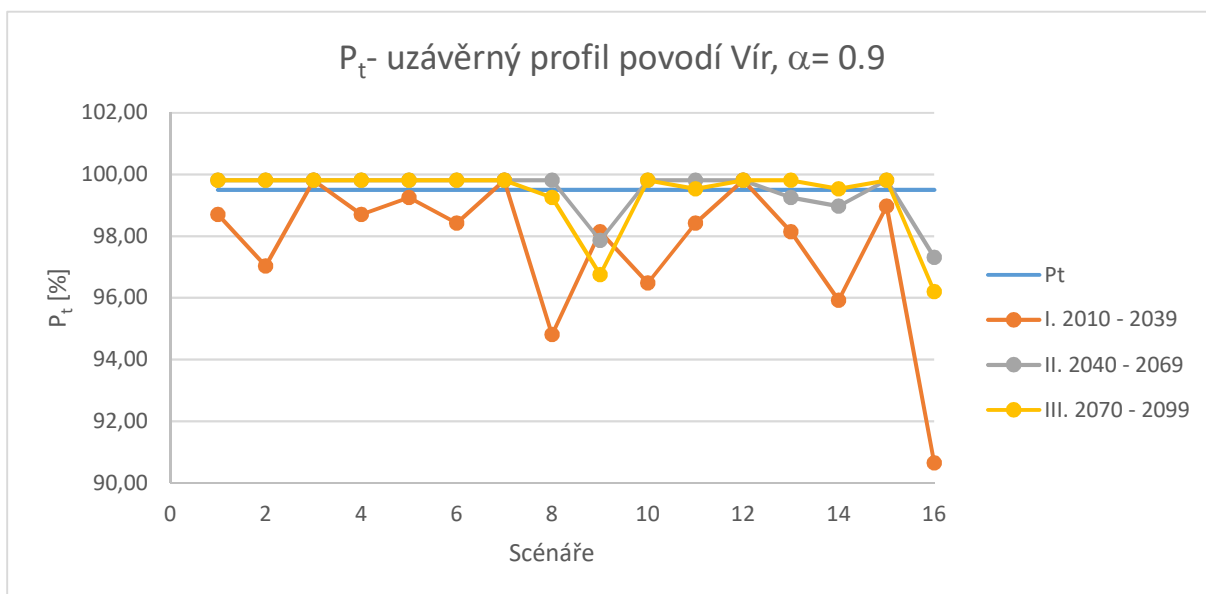
Blízká budoucnost se jeví jako značně nestálá v jednotlivých scénářích a řadíme ji do hodnot kde je nejvyšší koncentrace nízké zabezpečení P_t .

Naopak střední a vzdálená budoucnost už je téměř vyrovnaná, dochází zde k minimálním odchylkám v porovnání těchto dvou řad. I samotné průměrné hodnoty si odpovídají jedinou zásadní výjimkou je scénář číslo 16, kde dochází ke značnému zápornému extrému.

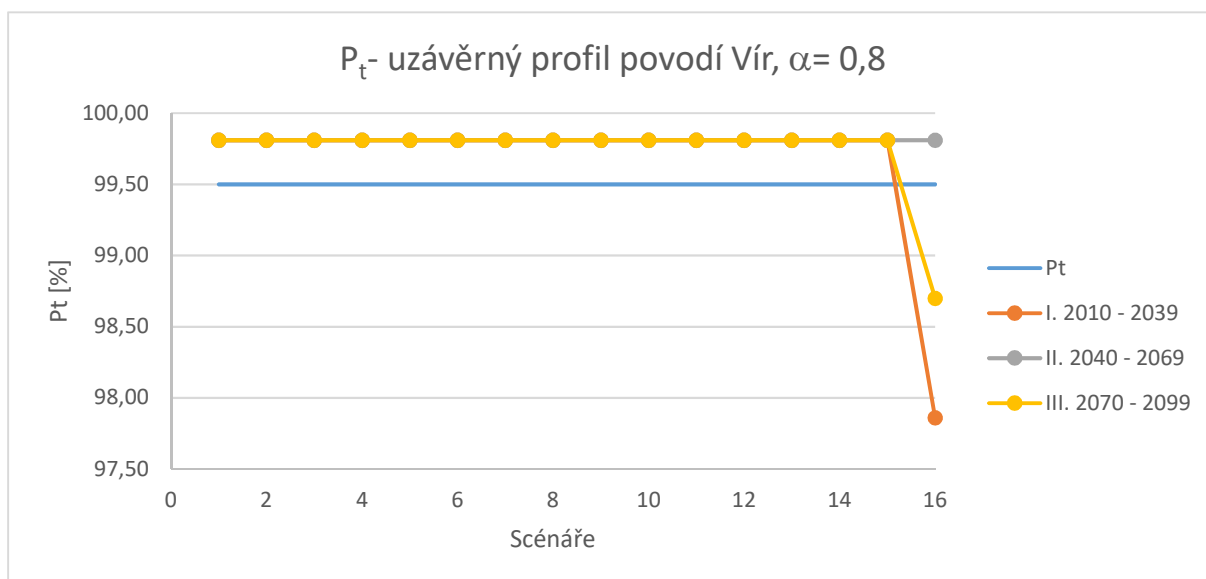
Vyhodnocení RCP4.5 scénáře



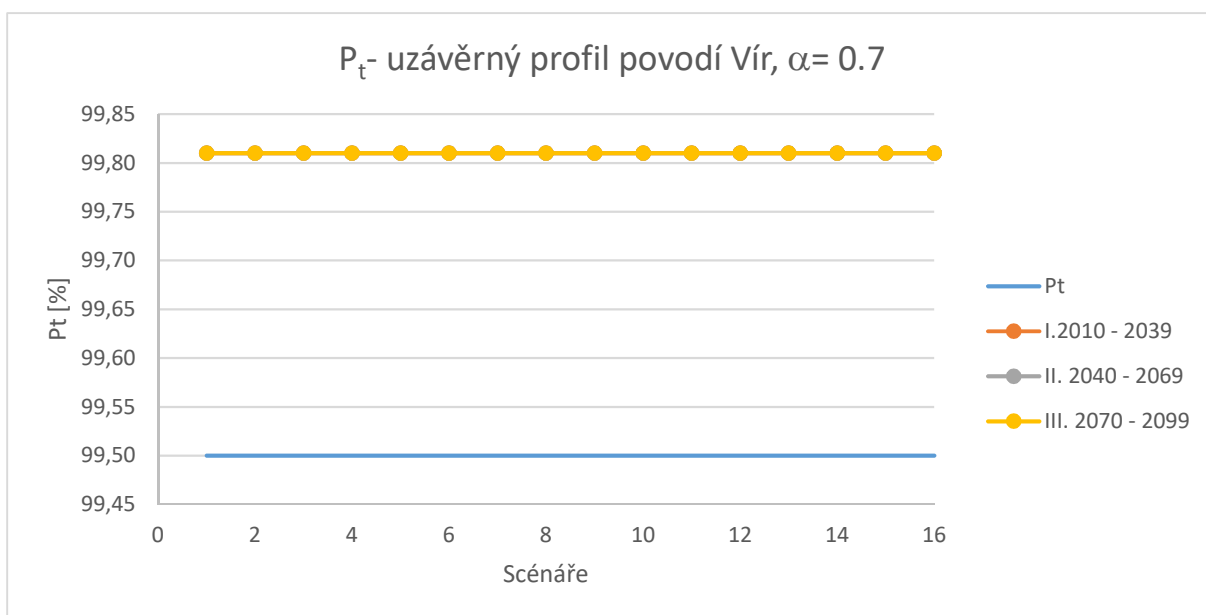
Graf 23. Vývoj RCP4.5 scénářů pro P_t při $\alpha=1$



Graf 24. Vývoj RCP4.5 scénářů pro P_t při $\alpha=0.9$



Graf 25. Vývoj RCP4.5 scénářů pro P_t při $\alpha=0.8$



Graf 26. Vývoj RCP4.5 scénářů pro P_t při $\alpha=0.7$

Vyhodnocení RCP8.5 scénáře

Reprezentativní směr vývoje koncentrací skleníkových plynů udává také nejvíce negativní scénář, kde velikost RCP 8.5 Wm^{-2} .

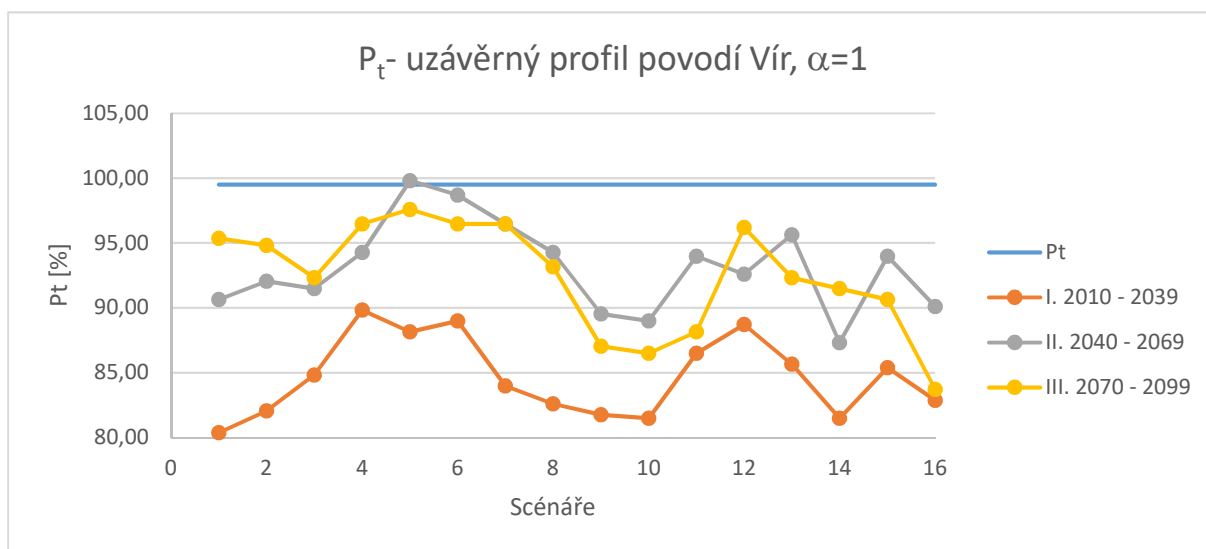
Blízká budoucnost se opět řadí mezi nejnižší hodnoty P_t . Její postupný vzestup je do velikosti $\alpha = 0.8$, pro další nižší hodnoty se její hodnota ustálí nad hranici $P_t = 99.50 \%$.

Pro koeficient $\alpha = 0.9$ již je splněna podmínka minimálního P_t pro jeden scénář s číslem 4. Dále pak se snížením koeficientu na velikost 0.8 se již scénáře ze značné většiny pohybují nad minimálním požadovaným P_t .

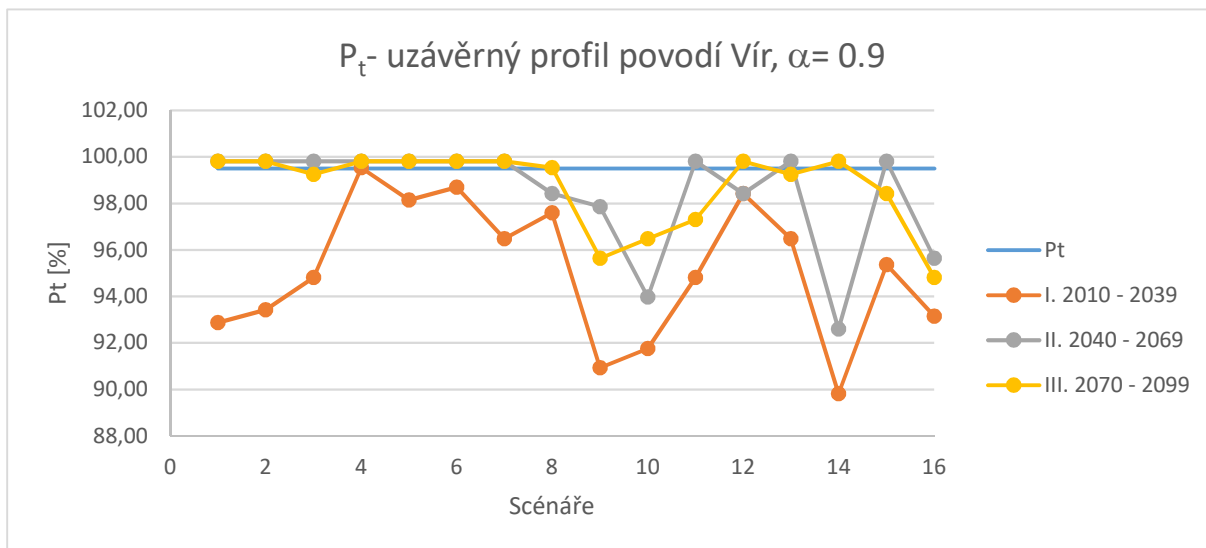
Ve střední budoucnosti již scénář č. 5 zabezpečuje min P_t , pro graf č. 27, kde i samotná vzdálená budoucnost se znatelně přibližuje požadované hodnotě.

Pro graf 29 střední a vzdálená budoucnost zaujímají svou větší částí v hodnotách rovny nebo větších jak P_{tmin} .

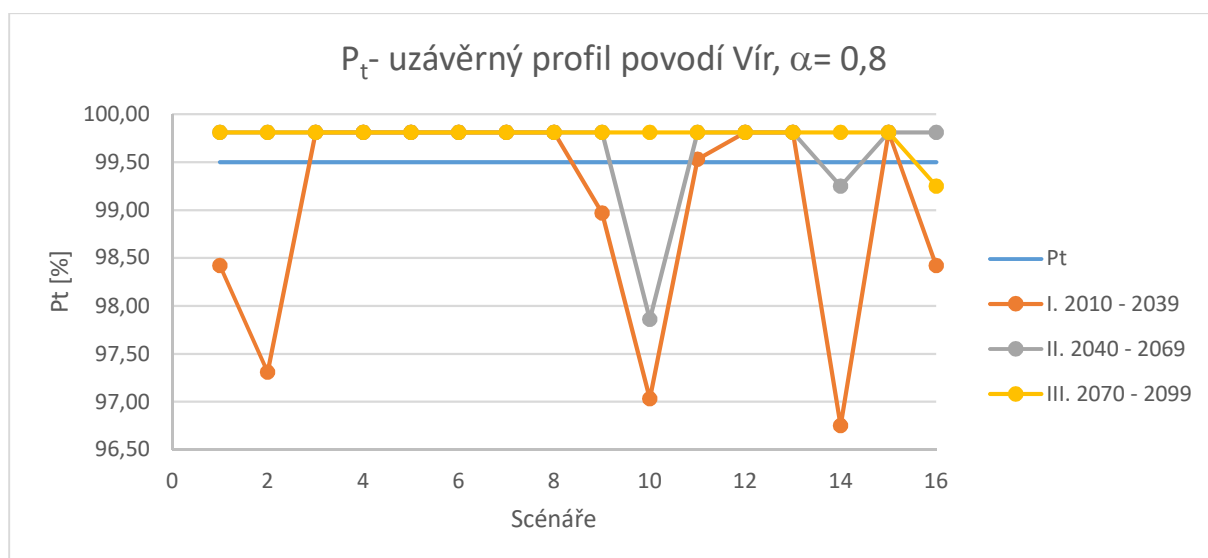
Pro velikost $\alpha = 0.7$ a nižší je zabezpečení ustálena na vyšší hodnotě, než je P_{tmin} .



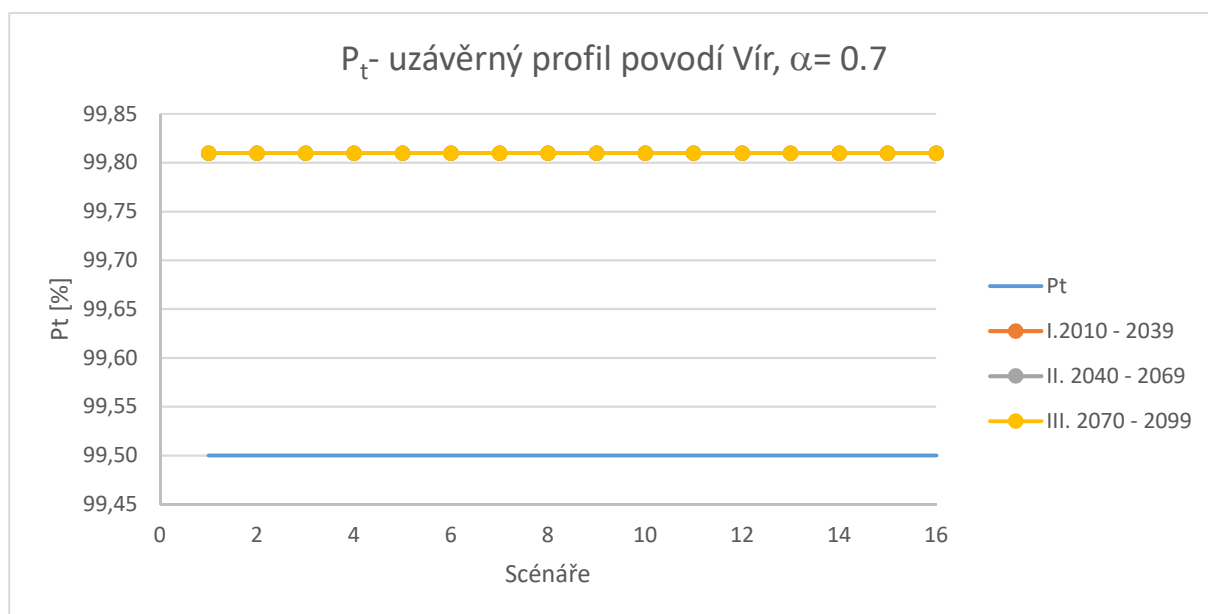
Graf 27. Vývoj RCP8.5 scénářů pro P_t při $\alpha=1$



Graf 28. Vývoj RCP8.5 scénářů pro P_t při $\alpha=0.9$



Graf 29. Vývoj RCP8.5 scénářů pro P_t při $\alpha=0.8$

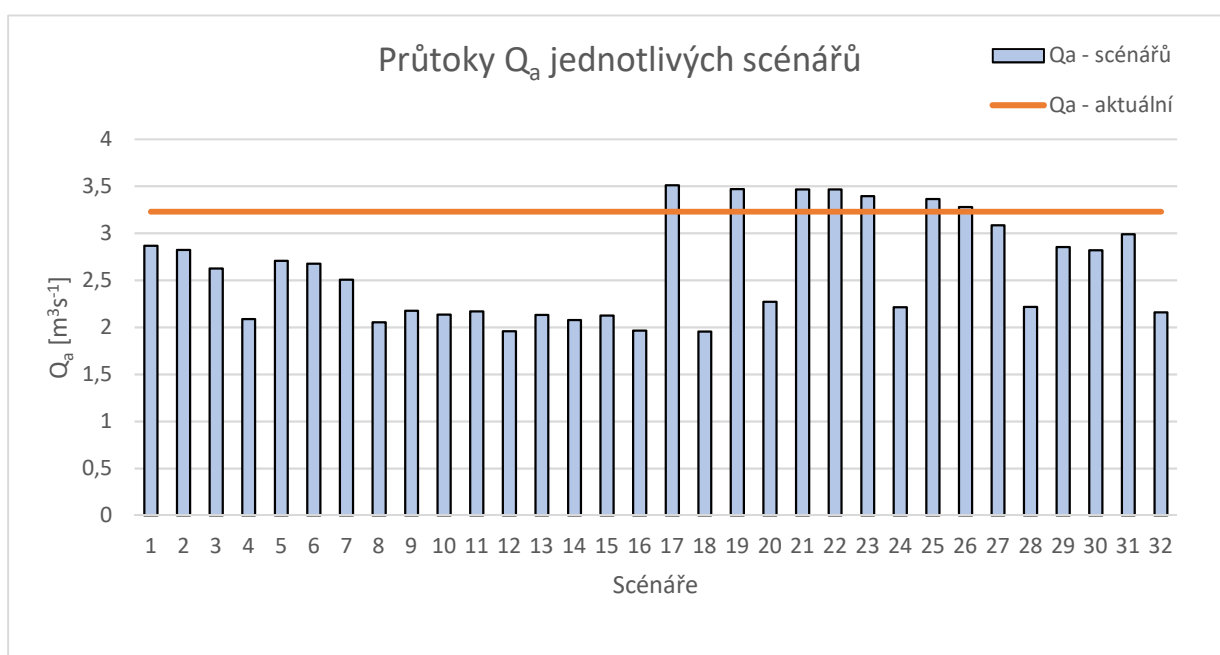


Graf 30. Vývoj RCP8.5 scénářů pro P_t při $\alpha=0.7$

4.4 APLIKACE ROBUSTNOSTI

Výpočet robustnosti byl proveden pro scénáře RCP4.5, RCP8.5 a jejich kombinaci pro transparentnější zobrazení výsledných hodnot.

Postupný vývoj jak O_p tak i P_t je vztažen k jednotlivým průměrným generovaným Q_a , které jsou v rámci jednotlivých scénářů odlišné. Každému scénáři odpovídá specifickému Q_a viz. graf 31. Tyto Q_a vstupují do výpočtu O_p a P_t jako vstupní hodnoty a zároveň se vychází z maximálního objemu $V_z = 44\,056\,000 \text{ [m}^3\text{]}$. Grafické vyjádření jednotlivých Q_a pro všech 32 scénářů hovoří o celkovém trendu snížení průtočného množství do vodního díla. Z toho existuje 7 scénářů, které se odklání od této skutečnosti a v průměru dosahují nad úroveň aktuálního Q_a .



Graf 31. Jednotlivé Q_a pro využité scénáře

Vyhodnocení robustnosti pro RCP4.5 scénář

Tabulka 4-9. popisuje vývoj robustnosti ve třech předikovaných časových úsecích, které jsou vztaženy ke změně koeficientu α .

Pro první časový úsek. Je patrné, že s rostoucím koeficientem α stoupá i procento robustnosti minimálního nalepšeného odtoku. Tato skutečnost se plně projevuje v úseku, kde α nabývá hodnoty 0.7. Procentuální O_p má stoupající tendenci a můžeme říci, že při hodnotě $\alpha=0.7$ je 25 % podíl vyhovujících scénářů z celkových 16 využitých. Pro tento názorný ukazatel nabývá zabezpečenost (P_t) 100 %. Což udává maximální možné využití všech 16 scénářů vzhledem k zabezpečení.

Se zvyšováním koeficientu α , O_p stoupá až k 50 % a souběžně s ním klesá hranice zabezpečení dle trvání až k 0 %.

V druhém a třetím časovém úseku se celkový vývoj projevuje značně negativně. Zde pozorujeme nárůst robustnosti až z koeficientu $\alpha=0.8$ a to ve značně malých hodnotách. Je třeba si povšimnout, že u jediného druhého časového období je vyhovující 50 % scénářů O_p a zároveň 6 % scénářů zabezpečení dle trvání při nejpříznivější hodnotě $\alpha=1$.

Tabulka 4-9. Vývoj robustnosti, RCP4.5

α	I.		II.		III.	
	$R_o(O_p)$ [%]	$R_o(P_t)$ [%]	$R_o(O_p)$ [%]	$R_o(P_t)$ [%]	$R_o(O_p)$ [%]	$R_o(P_t)$ [%]
1	50	0	50	6	44	0
0.9	50	19	31	75	31	81
0.8	44	94	19	100	19	94
0.7	25	100	0	100	0	100
0.6	0	100	0	100	0	100
0.5	0	100	0	100	0	100

Vyhodnocení robustnosti pro RCP8.5 scénář

Pro verzi negativního vývoje, jsou transparentní RCP8.5 scénáře, kterých je celkově 16.

Vizuálně jsou shodné s vývojem robustnosti jako u scénářů RCP4.5, jen s nižším procentuálním zastoupením počtu vyhovujících O_p a P_t . Vzhledem k zabezpečenosti dle trvání se stále dostáváme na 100 % pokrytí pro menší hodnoty α jako 0.6 pro I. časový úsek, 0.7 pro druhý časový úsek a 0.8 pro třetí úsek vzdálené budoucnosti.

Tabulka 4-10. Vývoj robustnosti, RCP8.5

α	I.		II.		III.	
	$R_o (O_p)$ [%]	$R_o (P_t)$ [%]	$R_o (O_p)$ [%]	$R_o (P_t)$ [%]	$R_o (O_p)$ [%]	$R_o (P_t)$ [%]
1	50	0	50	6	38	0
0.9	50	6	31	63	25	56
0.8	38	63	19	88	0	94
0.7	19	94	0	100	0	100
0.6	0	100	0	100	0	100
0.5	0	100	0	100	0	100

Vyhodnocení robustnosti kombinace RCP4.5 a RCP8.5 scénářů

Kombinace veškerých scénářů nám udává nejreprezentativnější výpočet robustnosti, jelikož je zde zahrnuto nejvíce scénářů a je v celkovém pohledu názorně vidět chování všech 32 scénářů vzhledem k měnícímu se koeficientu α .

Pokud porovnáme jednotlivé časové období mezi sebou, tak O_p se neustále snižuje jak už pro délku časového období, tak i s koeficientem α .

Naopak pro zabezpečenost dle trvání procentuální robustnost stoupá se snižující se α a zvyšující se délkou generované řady.

Je zde jedna anomálie, kde ve střední budoucnosti 5tého scénáře se objevuje vyhovující podmínka pro minimální P_t a tudíž je zde 6 % robustnost v rámci celkového výsledku.

Tabulka 4-11. Vývoj robustnosti, kombinace scénářů

α	I.		II.		III.	
	$R_o (O_p)$ [%]	$R_o (P_t)$ [%]	$R_o (O_p)$ [%]	$R_o (P_t)$ [%]	$R_o (O_p)$ [%]	$R_o (P_t)$ [%]
1	53	0	50	6	41	0
0.9	53	13	31	69	28	72
0.8	41	78	19	94	9	94
0.7	22	97	0	100	0	100
0.6	0	100	0	100	0	100
0.5	0	100	0	100	0	100

5 VYHODNOCENÍ

Vzhledem ke generovaným datům je zde reálná možnost celkového snížení vodnosti na území České republiky, konkrétněji na povodí nádrže Vír I.

Aktuální data hovoří o průtoku $Q_a = 3.23 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ v profilu Dalečín, zabezpečení dle trvání na nádrži Vír I. na úrovni 99.50 % a minimálním nalepšeném odtoku z nádrže o velikosti $O_p = 2.53 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

5.1 VÝVOJ PRŮTOKOVÉHO MNOŽSTVÍ

Tabulka č.5-1 vyjadřuje procentuální snížení průtočného množství vzhledem k průměrnému dlouhodobému průtoku v jednotlivých downscalingových metodách.

Nejhůře se jeví kombinovaná metoda (KOMBI) s 34.53 % snížením průtočného množství. Nejlépe pak Lineární regrese, kde v nejnegativnějším scénáři dochází ke 14.56 % snížení průtočného množství.

Analogová metoda téměř odpovídá svým vývojem metodě Lineární regrese, jsou zde velmi malé odchylky. Pro RCP4.5 je rozdíl necelých 1.3 % a pro RCP8.5 tento rozdíl není ani 1 %.

Neuronové sítě značně převyšují hranici snížení průtočného množství o více než 10 %, ale zároveň se nepohybují v tak markantních hodnotách jako u Kombinované metody.

Tabulka 5-1. Průtočné množství v jednotlivých metodách downscalingu

	Lineární regrese [%]	Analogová metoda [%]	Neuronová síť [%]	KOMBI [%]
RCP4.5	10.08	11.32	17.58	34.16
RCP8.5	14.56	15.50	21.02	34.53

Pro další analýzu průtočného množství bylo zvoleno průměrné Q_a ze všech použitých druhů downscalingu. Transparentnější náhled udává rozdělení časové osy na tři období.

Při zachování zabezpečení nádrže $P_r = 99.50 \%$. V tabulkách 5-2 až 5-4. jsou obsaženy data odečtené z grafického zobrazení viz. *graf č.13 a graf č.16*. Jedná se hodnoty, které jsou ještě schopny vyhovět aktuálním požadavkům. V tomto případě jsou aktuální požadavky prezentovány jako $Q_{a, \text{aktualni}}$, $O_{p, \text{aktualni}}$ a $P_{t, \text{aktualni}}$.

Následná *tabulka 5-2* poukazuje na snižující průtočné množství vody do nádrže. V blízké budoucnosti je snížení téměř o 10 %, ve střední budoucnosti je tato hodnota dvojnásobná a ve vzdálené budoucnosti se dostáváme téměř na 28 % snížení průměrného ročního přítoku do vodního díla Vír I.

Tabulka 5-2. Vývoj Q_a v čase

	$Q_{a, \text{aktual}}$ [m^3s^{-1}]	Q_a [m^3s^{-1}]	Snížení [%]
I.	3.23	2.91	9.86
II.		2.50	22.47
III.		2.34	27.5

Tabulka č.5-3 vyjadřuje změnu O_p při zachování zabezpečení odtoku vody z nádrže $P_t = 99.50\%$. Jestli je třeba zachovat P_t na současné hodnotě, tak z vypočtených dat vyplývá, že v prvním časovém kroku blízké budoucnosti dojde ke snížení O_p o 10 %, v úseku střední budoucnosti dojde k dalšímu snížení o 15 % z původního množství a následná vzdálená budoucnost počítá s redukcí o téměř 18 % O_p na konečných $2.08 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Tabulka 5-3. Vývoj O_p v čase

	$O_{p,\text{aktual}}$ [m^3s^{-1}]	O_p [m^3s^{-1}]	Snížení [%]
I.	2.53	2.29	9.49
II.		2.17	14.23
III.		2.08	17.79

5.2 VÝVOJ ZABEZPEČENOST DLE TRVÁNÍ

Při zachování minimálního nalepšeného odtoku z nádrže o velikosti $2.53 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ bude muset dojít ke snížení zabezpečení nádrže. Aktuální tabulka ukazuje limitní scénáře bez žádných návrhových opatření.

V blízké budoucnosti se jedná o snížení P_t o 14.3 % ve střední téměř o 21 % a ve vzdálené budoucnosti o 23.4 %.

Tabulka 5-4. Vývoj P_t v čase

	$P_{t,\text{aktual}}$ [%]	P_t [%]	Snížení [%]
I.	99.50	85.21	14.29
II.		78.76	20.74
III.		76.14	23.37

Pokud je třeba zachovat aktuální parametry zabezpečení nádrže, tak je nutné uvažovat se snížením O_p o 17.79 % za celkové predikované období. Naopak pro zachování minimálního nalepšeného odtoku, je třeba počítat s snížením zabezpečení. Konkrétně o 23.37 % za celé období.

Nabízí se zde možnosti převodu vody ze sousedního povodí, úprava vodní nádrže Vír I. a zvětšení jejího zásobního objemu, redukce spotřeby vody pod nádrží Vír.

5.3 VYHODNOCENÍ ROBUSTNOSTI

Pokud je brána v úvahu stálá hodnota V_z nádrže a udržení minimálního O_p pro měnící se Q_a vzhledem k časové posloupnosti. Tak musíme počítat s 53 % vyhovujících scénářů pro blízkou budoucnost, celkově se jedná o 17 scénářů. Limitním ukazatelem je přepočet O_p pomocí koeficientu $\alpha = 0.7$ kde s vyhovujícími scénáři se dostáváme na pouhých 22 % což odpovídá 7 generovaným scénářům.

Střední budoucnost potvrzuje teorii snižující vodnosti v rámci dlouhodobého časového kroku, kde výrazným mezníkem v hodnocení pozitivní stránky scénářů je hodnota $\alpha = 0.8$, která odpovídá z 19 %, což značí 6 pozitivních scénářů. Při snížení koeficientu na hodnotu 0.7, která je prezentována v blízké budoucnosti jako limitní už nevyhovuje ani jeden scénář požadovanému minimálnímu O_p .

Vzdálená budoucnost pokračuje v klesajícím trendu a zde se při $\alpha = 1$ pozitivně zobrazuje jen 41 %, kterým odpovídá 13 scénářů. Následnou mezní výpočetní hodnotou je velikost $\alpha = 0.8$, které je přiřazeno 9 % s celkem 3 vyhovujícími scénáři.

Se snižujícím množstvím O_p roste zabezpečení nádrže dle trvání pro udržitelné V_z . Samotná zabezpečení zohledňuje změny v akumulaci nádrže a následného minimálního odtoku z nádrže. Obě tyto hodnoty se v časovém měřítku snižují. Ale při vzájemném porovnání dochází k větší akumulaci než-li odtoku. Nastává zde opačné hodnocení, než je popsáno pro vývoj O_p . A proto se snižujícím koeficientem α roste P_t .

V prvním období pro blízkou budoucnost a vyhovující zabezpečení vodního díla v rámci první třídy zabezpečení (99.50 %), můžeme popsat pro mezní $\alpha = 0.7$ zhodnocení O_p s 97 % robustností jako 31 scénářů vyhovujících. Naopak pro hodnotu $\alpha = 1$ nevyhovuje žádný generovaný scénář.

V druhém období, které značíme jako střední budoucnost dochází k nárůstu počtu scénářů, které vyhovují na velikost 6 % (2 scénáře), což platí pro $\alpha = 1$. Se snižováním koeficientu α , exponenciálně roste počet vyhovujících scénářů. $\alpha = 0.9 \approx 69 \%$ (22 scénářů), $\alpha = 0.8 \approx 94 \%$ (31 scénářů), $\alpha = 0.7 \approx 100 \%$ (32 scénářů) při dalším snížení α je již robustnost konstantní na 100 % vyhovujících scénářů.

Nejvzdálenější třetí období datované v letech 2070 – 2099, má velice podobný průběh jako ve střední budoucnosti. Jen je zde vyšší rychlost nástupu vyhovujících scénářů viz. *tabulka 4-11*.

6 ZÁVĚR

Základní část diplomové práce je věnována statickému downscalingu. Pro něj byla využita online platforma, která má k uživateli velice přátelské rozhraní. Součástí práce je i podrobný popis a následný návod pro další potenciální uživatele. V budoucnosti je vhodné doplnění do databáze portálu více meteorologických stanic s datovými soubory teplot a úhrnu srážek na území ČR. Tato sada dat slouží k detailnějšímu prezentování jednotlivých vybraných lokací České republiky.

Ve fázi po získání datových podkladů na zájmovém území se dále využil Lumped bilanční model vytvořený na VUT Bc. Kateřinou Knoppovou pod vedením Ing. Daniel Martona, Ph.D. (2017-2018). Přesnost validace je zobrazena v grafickém vyjádření: *Graf 1*. Následné vypočtené hodnoty vykazují zřetelný měnící se vývoj vodnosti na zkoumaném území. Blízká budoucnost průměrného Q_a na přítoku do nádrže Vír I. se sníží o 9.81 %, střední budoucnost hovoří o snížení vodnosti o 22.47 % a následně vzdálená budoucnost datována k 31.12.2099 hovoří o snížení vodnosti řeky Svratky o 27.50 % veškeré procentuální hodnoty jsou vztaženy k aktuálním dlouhodobým průměrným hodnotám Q_a .

Samotné hydrologické řady zatížené změnou klimatu se dále aplikovaly na vodohospodářské poměry VD Vír I. Kde diplomová práce hodnotí toto dílo z dvou hlavních hledisek P_t a O_p .

Pro zabezpečení dle trvání je transparentní kombinace všech aplikovaných scénářů. Je udávána snížením zabezpečení v rozmezí 14.23 % až 23.37 %, vyšší hodnota odpovídá scénáři aplikovanému v třetím časovém úseku pro vzdálenou budoucnost. Sestupná tendence je v souladu s vývojem O_p i Q_a z kterého výpočty vychází.

V rámci dalšího statistického vyhodnocení byla hodnocena validita jednotlivých modelovaných scénářů. Hodnocení bylo provedeno pomocí metody nalezení míry robustnosti. Pro kombinaci 32 dvou scénářů a jejich porovnání dle aktuálních podmínek je transparentní vyhodnocení pro snižující se koeficient α . Pokud $\alpha=1$ pak $O_p=53\%$ (17scénářů) vyhovuje okrajovým podmínkám pro první časový úsek 2010 – 2039. Okrajové podmínky jsou stanoveny jako aktuální požadované hodnoty řízení nádrže. V rámci stejného časového úseku dochází ke snížení $\alpha=0.9$ pak $O_p=53\%$, $\alpha=0.8$ pak $O_p=41\%$, $\alpha=0.7$ pak $O_p=22\%$, při dalším snížení je $O_p=0\%$. Naopak P_t při shodných podmínkách má naprosto opačný vývoj. Což reprezentuje následná řada: $\alpha=1$ pak $P_t=0\%$, $\alpha=0.9$ pak $P_t=13\%$, $\alpha=0.8$ pak $P_t=78\%$, $\alpha=0.7$ pak $P_t=97\%$ a dále pak $P_t=100\%$ robustnosti.

Druhé prezentované období je v rozmezí let 2040- 2069. Dochází zde k totožnému vývoji O_p a P_t jen s dřívějším nástupem ustálenosti, který je vypočten pro mez $\alpha=0.7$. Druhé a třetí období se shoduje v nástupu ustálenost. Konkrétněji *tabulka 4-11*.

Generované a vyhodnocené výsledky směřují k mnoha scénářům a alternativám na jejich adaptaci. Pokud se budeme věnovat rozdělení budoucnosti na blízkou střední a vzdálenou, tak mezi vhodné návrhy patří postupné manipulace a převody vodní masy mezi jednotlivými povodími. Také je možnost úpravy odtokových poměrů, kde je nutné dbát na minimální požadované O_p pod nádrží Vír. Nabízí se otázka, zda tato hodnota je stále aktuální při trendu šetření vody v posledních letech. Tudíž doporučuji opětovné přepočítání minimálního požadovaného průtoku. Manipulace s O_p je řešení při setrvání vodního díla Vír I. v první kategorii dle zabezpečení na úrovni 99.50 %.

Pro další eventuality se může podat požadavek na zvětšení celkového objemu vodního díla Vír I. pomocí zvýšení koruny hráze a tím pádem i většího rozlivu v oblasti zátopy.

Také se nabízí možnost malé akumulční nádrže pro obce či města kde je větší množství odběru vody. Jednalo by se o separované malé vodní nádrže pro doplnění průtoků ve vodním toku Svratka během suchých období. Tyto nádrže už by nespádali do prvního ochranného pásma, ale byli by využity pro jiné technické účely, kde není třeba požadovaná kvalita vody prvního ochranného pásma např: dotování jednotlivých rybářství, zemědělství, závlahy a jiného hospodářské využití vodních zdrojů.

Vývoj klimatických změn je souvislí se značnou délkou časových kroků, tudíž společnost je stále schopna se během tohoto procesu adaptovat na případné změny, nástupu častých extrémů klimatu a neustálého se zvyšování průměrné roční teploty.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] [Odhad dopadu klimatické zmeny na hydrologickou bilanci v CR a možná adaptací opatření Martin Hanel, Ladislav Kašpárek, Magdalena Mrkvicková, Stanislav Horáček, Adam Vizina, Oldrich Novický, Renata Fridrichová, Vydal Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i. Praha 2011]
- [2] [Modelování hydrologické bilance v podmínkách klimatických změn. [Http://bilan.vuv.cz](http://bilan.vuv.cz) [online]. Praha: VÚV T.G.Masaryka, 2015 [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: <http://bilan.vuv.cz/bilan/modelovani-hydrologicke-bilance-ovlivnene-zmenou-klimatu/>]
- [3] [Udržitelné využívání vodních zdrojů v podmínkách klimatických změn. *VÚV T.G.M.* [online]. Praha: VÚV T.G.Masaryka, 2015 [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: <http://bilan.vuv.cz/bilan/modely-pro-vypocet-hydrologivke-a-vodohospodarske-bilance/>]
- [4] [*Scénáře budoucího vývoje světového klimatu* [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: http://www.mystika.cz/texty/cc_chap08.pdf]
- [5] [*Validační program pro statistické zpracování analytických dat*: <http://www.hplc.cz/> [online]. [cit.2018-01-12]. Dostupné z: http://www.hplc.cz/validace/program_validace.htm]
- [6] Carvalho-Santos, Claudia et al. *Climate Change Impacts On Water Resources And Reservoir Management: Uncertainty And Adaptation For A Mountain Catchment In Northeast Portugal*. Water Resources Management (2017): n. pag. Web.
- [7] Gutiérrez, J.M., San-Martín, D., Cofiño, A.S., Herrera, S., Manzanás, R., and Frías, M.D. (2012) *User Guide of the ENSEMBLES Downscaling Portal. Version 3*. Technical Note 2/2012. Santander Meteorology Group. Santander.
- [8] Hashimoto T., Stedinger J. R., Loucks D. P., *Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation*, Water Resources Research, Vol 18, NO 1, pages 14-20, February 1982.
- [9] Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005. *Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas*. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.
- [10] Hoar, T., Nychka, D., 2008. *Statistical downscaling of the community climate system model (CCSM) monthly temperature and precipitation projections*. White paper preprint, Institute for Mathematics Applied to Geosciences/National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO 80307.
- [11] IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [12] IPCC, 2013: *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M.

- Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [13] Kašpárek, L. a kol. (2003): *Vliv klimatických změn na množství a kvalitu vodních zdrojů a na hydrologické poměry v ČR*. Závěrečná zpráva úkolu VaV/650/3/02. VÚV T.G.M., Praha, 192 s.
 - [14] Klemes, V. (1967) *Reliability estimates for a storage reservoir with seasonal input*. J. Hydrol. 7, 198-216.
 - [15] KOŽÍN, R., HANEL, M., KAŠPÁREK, L., PELÁKOVÁ, M., VIZINA, A. a TREML, P. *Možnosti zmírnění dopadů změny klimatu využitím území chráněných pro akumulaci povrchových vod*. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2015, roč. 57, č. 4–5, str. 11–16. ISSN 0322-8916.
 - [16] MŽP, *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR*. Ministerstvo životního prostředí (MŽP - Ministry of the Environment of the Czech Republic) [online]. 2015 [cit. 2016-10-10].
 - [17] Paton, F. L., H. R. Maier, and G. C. Dandy (2014), *Including adaptation and mitigation responses to climate change in a multiobjective evolutionary algorithm framework for urban water supply systems incorporating GHG emissions*, Water Resour. Res., 50, 6285–6304, doi:10.1002/2013WR015195.
 - [18] STARÝ, M. *Hydrologie*. BRNO: Skripta byla vydána v el. podobě, 2005.
 - [19] STARÝ, M. *Vybrané kapitoly z vodního hospodářství krajiny (MODUL 03)*, VUT v Brně - Fakulta stavební, Brno, 2007.
 - [20] Trnka M., Dumbrovský M., Růžek P., Žalud Z., Drbal K., Vizina A., Novotný I., Chuchma F., Trantinová M., a kol., *Generel vodního hospodářství krajiny ČR* (2017), dostupný na: <http://www.spucr.cz/voda-sucho/generel-vodniho-hospodarstvi-krajiny-ceske-republiky>.
 - [21] VÚV pobočka Brno, *Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu v povodí Moravy*, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i. – pobočka Brno, 2008.
 - [22] Wang G., Zhang J., Xuan Y., Liu J., Jin J., Bao Z., He R., Liu C., Liu Y., Yan X., *Simulating the impact of climate change on runoff in a typical river catchment of the Loess Plateau, China*, Hydrometeorol., 14 (5) (2013), pp. 1553–1561 <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-081.1>

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1. Schéma změn hydrologického vývoje klimatu (VÚV T.G.M.).....</i>	<i>2</i>
<i>Obrázek 2. ENSEMBLE downscaling portal – princip práce s portálem.....</i>	<i>6</i>
<i>Obrázek 3. Schéma bilančního modelu</i>	<i>9</i>
<i>Obrázek 4. Vodohospodářská mapa, lokalizace VD Vír I. (cs.wikipedia.org)</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 5. Povodí VD Vír I. (program: ARCGis)</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 6. Mapa využitých meteorologických stanic (ensembles downscaling portál)</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 7. Domovská stránka online downscalingu</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 8. Postup pro výběr predictorů</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 9. Mapový podklad výběru meteo stanic</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 10. Tvorba downscalingové metody</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 11. Validace a kontrolní zpráva vybrané downscalingové metody</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 12. Průběh downscalingu pro jednotlivé časové kroky</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 13 - Základní nastavení programu UNCE.....</i>	<i>35</i>

9 SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 4-1. Kalibrace, validace</i>	<i>26</i>
<i>Tabulka 4-2. Procentuální zastoupení P_t pro RCP4.5</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 4-3. Procentuální zastoupení P_t pro RCP8.5</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 4-4. Procentuální zastoupení P_t pro kombinaci scénářů</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 4-5. Vývoj O_p v závislosti P_t, RCP4.5</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 4-6. Vývoj O_p v závislosti P_t, RCP8.5</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 4-7. Vývoj O_p v závislosti na P_t, kombinace scénářů</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 4-8. Hodnoty jednotlivých odchylek</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 4-9. Vývoj robustnosti, RCP4.5</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka 4-10. Vývoj robustnosti, RCP8.5</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 4-11. Vývoj robustnosti, kombinace scénářů</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 5-1. Průměrné množství v jednotlivých metodách downscalingu</i>	<i>54</i>
<i>Tabulka 5-2. Vývoj Q_a v čase</i>	<i>54</i>
<i>Tabulka 5-3. Vývoj O_p v čase</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka 5-4. Vývoj P_t v čase</i>	<i>55</i>